

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



BAKALAŘSKÁ PRÁCE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra energetických zařízení



NGUYEN VAN VU

Měření průtoku vody v uzavřeném potrubí

Water flow measurement in closed pipelines

Vedoucí práce: Ing. Petr Novotný, CSc.

Konzultant práce: Doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.

Rozsah práce:

- Počet stran: 59
- Počet obrázků: 36
- Počet tabulek: 10
- Počet grafů: 7
- Počet příloh: 2

Liberec 2012

Anotace [CZ]

Cílem této bakalářské práce je měření průtoku na trati pomocí clony a hmotového průtokoměru, Coriolisův průtokoměr firmy Siemens. Nastavit účinný průběh zabudovaná čerpadla na změnění průtoku. Byly porovnány výsledky z měření, navrženy vhodná další měřidla. Vypracovat návod a protokol pro účely technického měření.

Klíčová slova

- průtokoměr
- hmotnostní průtokoměr
- objemový průtokoměr
- Coriolisův průtokoměr
- clona
- průtok v uzavřeném potrubí
- přesnost
- spolehlivost
- postup měření

Annotation [EN]

Aim of this bachelor thesis to measure water flow in closed pipelines by using the orifice and mass flow meter, Coriolis mass flow meter from Siemens, and to compare these results. Verify efficiency of electrical pump, which is integrated on closed pipelines, while changing the mass flow. Propose another suitable mass flow meter and manometer for laboratory purposes. Write instruction and protocol for measuring water mass flow with the pipelines.

Keywords

- flow meter
- mass flow meter
- volumetric flow meter
- Coriolis flow meter
- orifice
- mass flow in pipelines
- realistic assessment
- reliability
- measurement procedure

Čestné prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: “Měření průtoku vody v uzavřeném potrubí” vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Petra Novotného, CSc. K řešení práce jsem použil znalosti, které jsem získal během studia na Fakultě strojní, dále z odborných seminářů a množství odborné literatury uvedené na konci zadané bakalářské práce.

Datum: 21 / 05 /2012

Popis:

Poděkování

Velmi děkuji vedoucímu této bakalářské práce panu Ing. Petrovi Novotnému, CSc. za vstřícné jednání, neocenitelné rady, věcný přístup a ochotu, se kterou mi vždy věnoval nejen ve vedení mé bakalářské práce, ale i v průběhu mého studia na technické univerzitě v Liberci. Také bych rád poděkoval ostatním, kteří mi byli nápomocni při psaní této bakalářské práce.

NGUYEN VAN VU

Obsah

Anotace [CZ]:	3
Klíčová slova:	3
Annotation [EN]:.....	4
Keywords:.....	4
Čestné prohlášení.....	5
Poděkování:	6
Obsah	7
Seznam použitých symbolů	9
1 Úvod [6], [14]	10
2 Měřicí přístroje.....	11
2.1 Základní pojmy [2] [3]	11
2.2 Měřicí přístroje	11
2.7.1 Objemový průtok [1] [2]	11
2.7.2 Turbínové průtokoměry [1] [2].....	13
2.7.3 Lopatkové průtokoměry [1] [4]	14
2.7.4 Bubnový průtokoměr [1]	15
2.7.5 Průtokoměry s oválnými koly [2] [4] [14]	16
2.7.6 Průřezové průtokoměry [3].....	17
2.7.7 Plováčkové průtokoměry.....	21
2.7.8 Termoelektrické - anemometrické průtokoměry [1] [5]	22
2.7.9 Kalorimetrické průtokoměry	23
2.7.10 Indukční průtokoměr [1] [4].....	24
2.7.11 Ultrazvukové průtokoměry [2] [4]	25
2.7.12 Vírové průtokoměry [2] [4].....	26
2.7.13 Coriolisovy průtokoměry [2] [5]	27
3 Trať na měření průtoku v laboratoři.	31
3.1 Popis měřicí tratě – viz obr. 3-1	31
3.2 Čerpadlo Wilo TOP S30/10 DM PN10 [7] [10]	31
3.3 Ventil na řízení průtoku - ventily uzavírací a regulační [8]	34
3.4 Clona a trubice [9]	34

3.5 Coriolisův převodník Sitrans F C MASSFLO MASS 6000 IP67 [11] [13]	35
3.6 Sitrans F C MASSFLO MASS 2100 DI 25 [12] [13]	37
3.7 Návod na hmotový průtokoměr [13]	41
3.7.1 Klávesnice se používá k stanovení průtokoměr	41
3.7.2 Displej	41
3.7.3 Heslo:	42
3.7.4 Nastavení nulový bod:	42
3.7.5 Provozní režim	42
3.8 Návrh doplnění tratě [5] [17] [18]	43
3.8.1 Výběr vhodného typu průtokoměru	43
3.8.2 Výběr vhodného diferenčního manometru	47
4 Skutečná měření v laboratoři	49
4.1 Cíl měření	49
4.2 Postup měření	49
4.3 Postup výpočtu z naměřených hodnot [18]	49
4.4 Výsledky měření	52
5 Závěr	55
Literatury	56
Přílohy	58

Seznam použitých symbolů

Značky	Jméno	Jednotka
T	Absolutní teplota	K
\vec{F}_c	Coriolisova síla	N
\vec{a}_c	Coriolisova zrychlení	m/s ²
t	Čas	s
l	Délka vodiče	m
Δs	Dráha snímaného bodu	m
μ	Dynamická viskozita	Pa.s
ε	Expanzní součinitel; u kapalin $\varepsilon = 1$, u plynů $\varepsilon < 1$	[-]
g	Gravitační zrychlení	m/s ²
Q_m, q_m	Hmotnostní průtok	kg/s
ρ	Hustota měřicích tekutin	kg/m ³
ν	Kinematická viskozita	m ² /s
$d\vec{M}$	Krouticí moment	N/m
\dot{w}_{CO}	Měřený Coriolisův průtok	kg/s
U	Napětí naprázdno	V
V	Objem	m ³
Q_V, q_v	Objemový průtok	m ³ /s
v	Obvodová rychlost	m/s
S	Plocha	m ²
θ	Poměr vypočteného a měřeného průtoku	%
β	Poměrné zúžení	[-]
d	Průměr otvoru škrticího orgánu	[m]
S	Průřez	m ²
α	Průtokový součinitel škrticího orgánu	[-]
$P'_{\check{C}E}$	Příkon čerpadla	W
Re_D	Reynoldsovo číslo	[-]
H	Rozdíl výšky manometrů	m
Q_s	Skutečný průtok	m ³ /s
C	Součinitel průtok	[-]
A	Součinitel tření v ložiskách	[-]
t	Teplota	°C
Δp	Tlaková difference	Pa
L	Účinná délka jednoho ramene U trubice	m
η	Účinnost čerpadla	%
ω	Úhlová rychlost	rad/s
B	Vektor magnetické indukce	T
D	Vnitřní průměr potrubí	m
$P_{\check{C}E}$	Výkon čerpadla	W
$\dot{w}_{V\check{y}}$	Vypočtený průtok	kg/s

1 Úvod [6], [14]

Průtokoměr je zařízení, které měří průtok (objemový nebo hmotnostní) kapalin a plynů. Měření průtoku je jedním z nejstarších úkolů měřicí techniky, které je již před více než 4000 let staré. Průtokoměry se dneska dobře používá všude, v každodenním životě, chemickém průmyslu, laboratořích atd.

Měření průtoku je velmi rozmanité a obsahuje mnoho snímačů pracujících na různých fyzikálních principech. Můžeme je rozdělit do dvou základních skupin: pracující na mechanickém principu a pracující na elektrickém principu. Průtokoměry na elektrickém principu dosahují vysokých přesností, například indukční, ultrazvukové, vírové, Coriolisův efekt.

Jeden z důležitějších způsobů je Coriolisův způsob, jeho aplikace dneska ovlivňuje mnoho oblastí průmyslu. Coriolisovy průtokoměry jsou velmi přesné, umí měřit hustotu, rychlost, objem tekutin. Výsledky jsou nezávislé na prostřední měření.

Coriolisův průtokoměr se používá princip Coriolisovy síly, kterou objevil Gaspard Gustave Coriolis v roce 1835. Až v roce 1977, firma Micro Motion vyrobil první Coriolisův průtokoměr. V dnešní době existuje mnoho firem, které vyrábí tyto průtokoměry.

2 Měřicí přístroje

2.1 Základní pojmy [2] [3]

Pro měření průtoku a proteklého množství plynů a kapalin je k dispozici velmi mnoho rozličných přístrojů využívajících různé fyzikální principy. Snímače používané pro měření průtoku a proteklého množství tekutin lze klasifikovat podle různých hledisek, např. podle použité měřicí metody. Metody měření průtoku se dělí do tří hlavních skupin, a to na metody objemové, rychlostní a hmotnostní, stručně charakterizované takto:

- **Objemové metody:**

Odměřování objemu plynu nebo kapaliny v odměrných prostorách.

Cyklické plnění a vyprazdňování odměrných prostor.

Měřítkem proteklého množství je počet měřicích cyklů.

- **Rychlostní metody:**

Vhodnou technikou se měří rychlost proudícího média.

Ze znalosti průtočného profilu a průřezu se vypočítává objemový průtok.

- **Hmotnostní metody:**

Měří se veličina, která je přímo úměrná hmotnostnímu průtoku.

2.2 Měřicí přístroje

2.7.1 Objemový průtok [1] [2] [14]

Objemový průtok (objemový tok) je objem kapaliny, který proteče jedním místem (celým průřezem v jednom místě trubice) za jednotku času. Objemový průtok tekutin je jedna z nejčastěji měřených veličin, je definován: objemové měření průtoku patří mezi absolutní měřicí metody, proto se měřidla pracující na tomto principu používají jako etalony pro ověřování jiných měřidel průtoku a proteklého množství a pro všechna přesná měření.

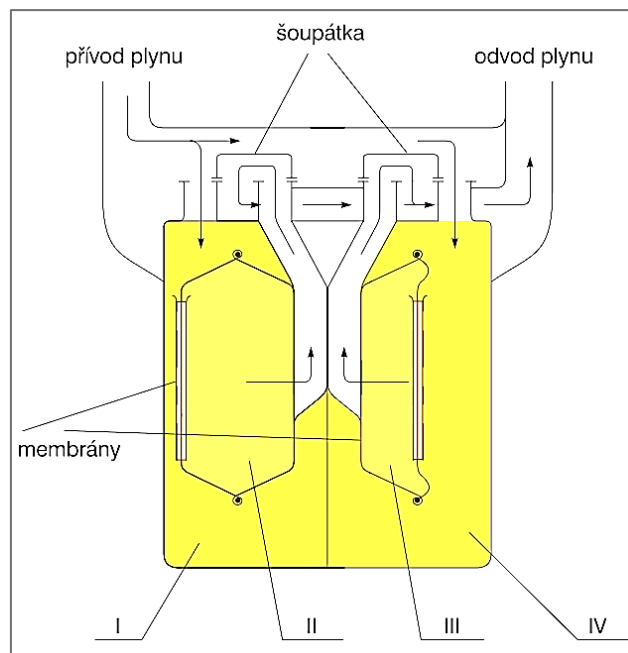
$$Q_v = \frac{V}{t} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$$

Měřidla s přerušovanou činností se používají v laboratořích pro kalibrace a ověřování. Měření probíhá ve 2 fázích - měřicí a vyprazdňovací: vymezený měřicí prostor se zcela zaplní tekutinou a po odměření objemu tekutiny se měření přeruší, zjistí se doba plnění odměrného prostoru a měřicí prostor se vyprázdní. Pak následuje další měření.

Příkladem měřidla s přerušovanou činností je zvonový krychloměr. To je nádoba známého obsahu uzavírající vhodnou tekutinu (voda, vzduch), která při měření vytéká za stálého tlaku. Pro zjištění průtoku je třeba měřit čas, za který se objem krychloměru vyprázdní. Jde o velmi přesný přístroj (nejistota menší než $\pm 0,1 \%$) využívaný v laboratorních podmínkách převážně pro kalibrační účely a jako etalon průtoku. Kvůli jeho principu, nepoužívá se na uzavřené tratě.

Měřidla s nepřerušovanou činností se používají především jako bilanční měřidla a měřidla pro obchodní účely a v distribučních sítích, méně často jako laboratorní přístroje. Měřidlo má několik odměrných prostorů, které se postupně plní a postupně vyprazdňují. Proteklé množství je dáno počtem cyklů naplnění a vyprázdnění odměrných prostorů, průtok je stanoven vztažením počtu měřicích cyklů na jednotku času, tj. frekvencí cyklů.

Příkladem měřidla s nepřerušovanou činností je membránový plynoměr, používaný pro měření množství plynu. Ve společném pouzdru jsou dvě komory rozdělené koženými membránami, čímž jsou vytvořeny čtyři odměrné prostory. Každý prostor je spojen hrdlem s rozvodným ústrojím tvořeným šoupátkem, jejichž pohyb je odvozen od pohybu membrán, spolu s pohybem počítadla. Membránové plynoměry se používají v distribučních sítích k měření množství topných



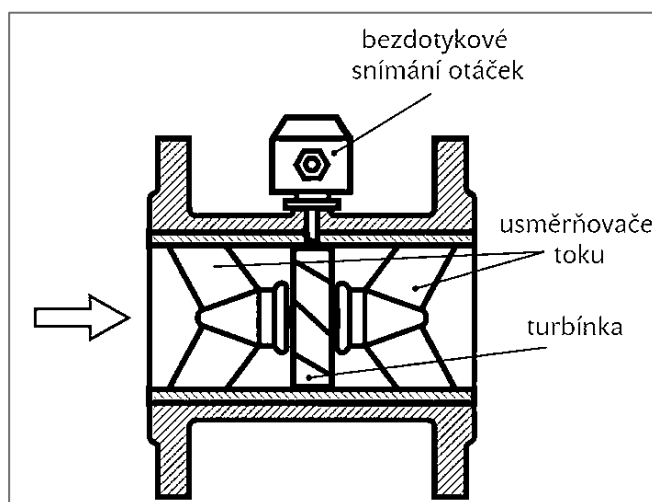
Obr. 2-1 Membránový plynoměr (I, II, III, IV – odměrné prostory)[3]

plynů. Vyrábějí se pro měření průtoků od desetin až do stovek krychlových metrů za hodinu s nejistotou od $\pm 1,5$ do $\pm 3\%$. Takže tyto přístroje jsou nevhodné k použití vybudované tratě v laboratoři.

2.7.2 Turbínové průtokoměry [1] [2]

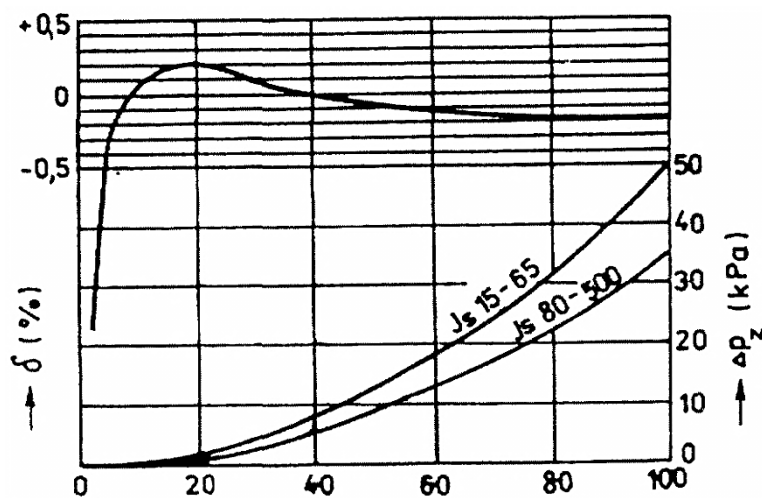
U turbínových průtokoměrů je osa otáčení rotoru shodná s osou vstupního a výstupního potrubí. Rotor má tvar vícechodého šroubu. Někdy se označují jako Wolmannova kola. Otáčky se měří obvykle indukčním snímačem nebo opticky.

Otáčky rotoru jsou v oblasti 10 až 100 % rozsahu jmenovitého průtoku přímo úměrně objemovému průtoku procházejícímu měřidlem. Otáčky jsou snímány indukčně (u kovových turbín) nebo opticky (u plastických turbín). Výstupním signálem jsou napěťové pulsy zpracovávány v elektrické části, hodnota průtoku je zobrazena na displeji, nebo je použita jako elektrická výstupní veličina pro regulaci, řízení apod.



Obr. 2-2: Schéma turbínového průtokoměru [4]

Turbínové průtokoměry se používají i pro měření průtoku kapalin za vysokých tlaků a teplot (32 MPa, 200 °C) pro světlosti 5 až 70 mm a jmenovité průtoky $1,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ až $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. V kapalině se nesmí vyskytovat kavitační



Graf. 1 Charakteristiky turbínového průtokoměru [2]

bublinky a erozivní částice větší než 1 mm.

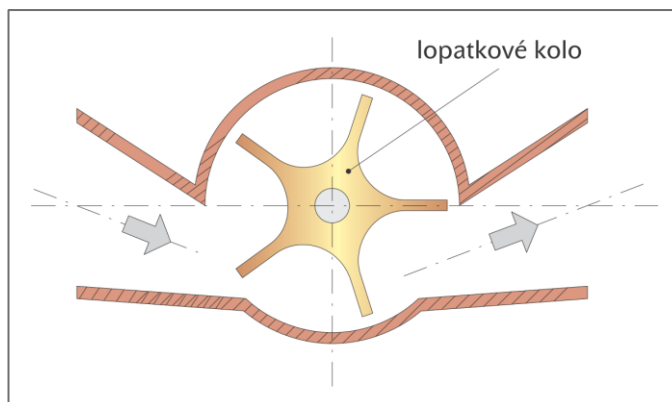
To je poměrně přesné měřidlo, za ideálních podmínek přesnost dosahuje 0,5 % v celém měřicím rozsahu. Tento přístroj má velký rozsah vstupných tlaků a teplot kapalin, je vhodný k použití u vybudované tratě v laboratoři.

2.7.3 Lopatkové průtokoměry [1] [4]

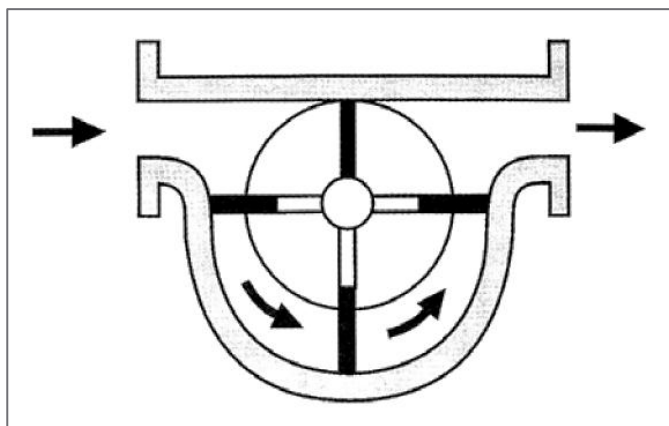
Princip lopatkových průtokoměrů je na obrázek 3.2 a 3.3: měřící tekutina působí otočení osy lopatky. Otáčky se měří obvykle indukčním snímačem nebo opticky. Při otáčení kola vznikají hydrodynamické ztráty a ztráty třením v uložení kola. Pro provozní měření odebraného množství užitkové a pitné vody se používají nejčastěji jednovtokové nebo vícevtokové lopatkové a šroubové vodoměry.

Jednovtokový lopatkový vodoměr se používá pro jednoduchou konstrukci. Průtok studené vody (do 35°C) a teplé vody (do 95°C) lze měřit do tlaku 1 MPa. Vícevtokový vodoměr má větší citlivost a přesnost měření při malých průtocích.

Jejich použití je výhodné zejména z ekonomického hlediska. Lopatkové průtokoměry nejsou vhodné pro tekutiny s větší viskozitou. Jsou vhodné pro měření menších průtočných množství. Přesnost i jejich rozsahy měřicích tlaků a množství průtoku jsou nevhodné k použití u vybudované tratě v laboratoři.



Obr. 2-3: Schéma radiálního lopatkového průtokoměru [4]

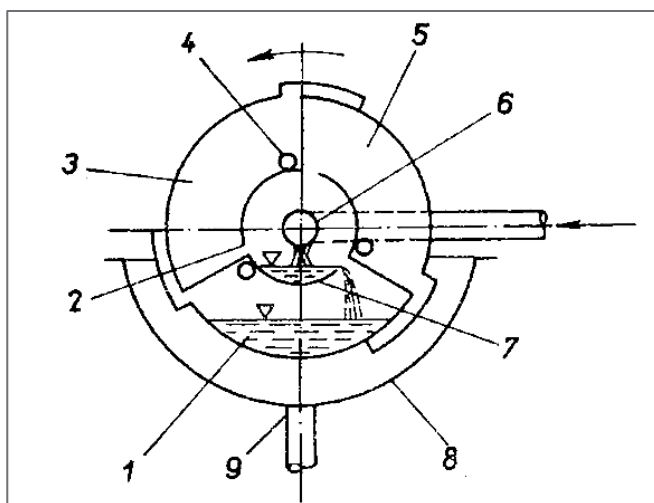


Obr. 2-4: Princip lopatkového snímače průtoku s kluznými lopatkami [1]

2.7.4 Bubnový průtokoměr [1]

Bubnový průtokoměr na měření kapalin s otevřenou nádobou je na obr. 2-5. Vodorovně otočný buben je rozdělen přepážkami 2 na tři stejné komory (1, 3, 5). Měřená kapalina v ose bubnu 6 vtéká do vnitřního rozváděcího válce 7 a přepadá přes hranu otvoru do odměrné komory bubnu 1. Jakmile se komora naplní, přelévá se kapalina i do výtokové části. Těžnice, procházející původně osou bubnu, se posune doleva a vyvolá moment síly, který pootočí bubnem o 120° ve směru šipky. Kapalina odteče sběrným žlabem 8 a výtokem 9. Pro správnou funkci je nutné odvzdušnění odměrných komor kanálky 4.

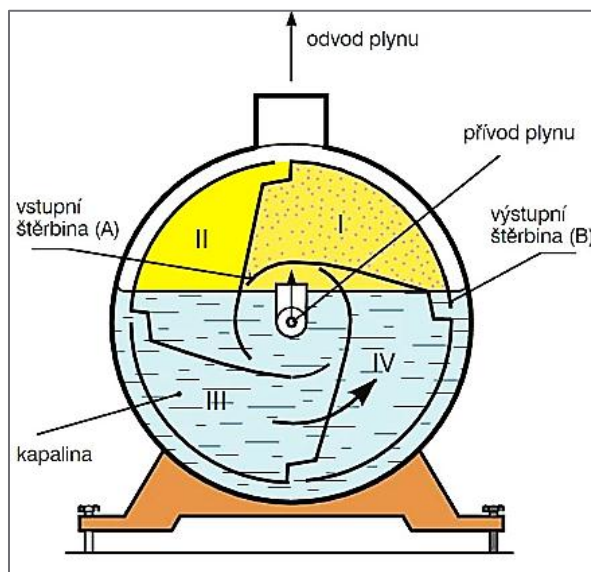
Čidlo je velmi přesné i při proměnlivém průtoku. Je citlivé na přetížení, kdy dochází ke zvýšení pasivních odporů. Rozsah je např. $0,1$ až $7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Přesnost měření $\pm 1 \%$. Přístroj není vhodný k použití u vybudované tratě v laboratoři pro jeho rozsah měření a strukturu.



Obr. 2-5: Bubnový průtokoměr s otevřenou nádobou [1]

Bubnový průtokoměr na měření plyn

V ležaté válcové nádobě vyplněné zčásti kapalinou (voda, olej) je otočně uložen vlastní měřicí buben. Buben je opatřen štěrbinami pro přívod a odvod plynu a rozdělen radiálními přepážkami na čtyři odměrné prostory. Plyn se do měřicího bubnu přivádí trubicou, která je umístěna v ose otáčení bubnu a ústí nad hladinou uzavírací kapaliny. Přepážky v bubnu jsou tvarovány tak, aby při jejich otáčení kapalina současně uzavírala např. vstupní štěrbinu (A) i výstupní štěrbinu (B). Odměrné prostory: prostor I je zcela vyplněn plynem, prostor II se vyprazdňuje, prostor III je zcela vyplněn oddělovací kapalinou a prostor IV se začíná plnit plynem.

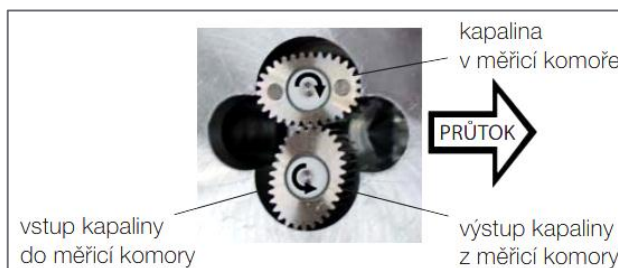


Obr. 2-6: Bubnový průtokoměr na měření plyn [3]

Trvalé zatížení při provozu nesmí u bubnového měřidla překročit 50 % výrobcem stanoveného jmenovitého průtoku. Teplota kondenzátu nesmí přesáhnout 90°C a tlak 2 kPa. Měřidlo se používá jako měřidlo kondenzátu v elektrárnách a výtopnách, nebo tam, kde je potřeba měřit průtok zkondenzované páry.

2.7.5 Průtokoměry s oválnými koly [2] [4] [14]

Princip: kapalina vtéká vstupní stranou do měřicí komory, způsobuje rotační pohyb měřicího soukolí a vytéká z měřicí komory ven. Každá otáčka kola znamená průtok definovaného množství kapaliny. Přesná konstrukce



Obr. 2-7: Princip oválového průtokoměru [3]

měřicí komory minimalizuje úniky kapaliny po stěnách. Otáčivý pohyb kol je magneticky přenášen na vyhodnocovací mikroprocesorovou jednotku.

Relativní chybu měřidla je možno určit ze vztahu:

$$-\delta = \alpha \frac{\alpha}{\eta} \left(\frac{A}{Qv} + D \cdot Qv \right) - \beta = \frac{a}{Qv} + b \cdot Qv \quad (\%)$$

Oválná měřidla mají zpravidla nezanedbatelnou tlakovou ztrátu, která silně závisí především na velikosti tření v ložiskách, dynamické viskozitě hustotě měřeného média:

$$\Delta p_z = A + B\eta Q_v + D\rho Q_v^2 \quad (Pa)$$

α, β – jsou konstanty závislé na tvaru ozubení,

ρ – je hustota měřené tekutiny,

η – dynamická viskozita,

A – součinitel tření v ložiskách

B, D – součinitelé zahrnující vliv vlastností měřené kapaliny a průtoku.

Jsou využívána pro průtoky od jednotek litrů do stovek krychlových metrů za hodinu při tlacích až 2 MPa a teplotě až 300 °C. Při dodržení rozměrů oválných těles a vyloučení prokluzu může být dosaženo i velmi malých nejistot měření (menších než 1 %).

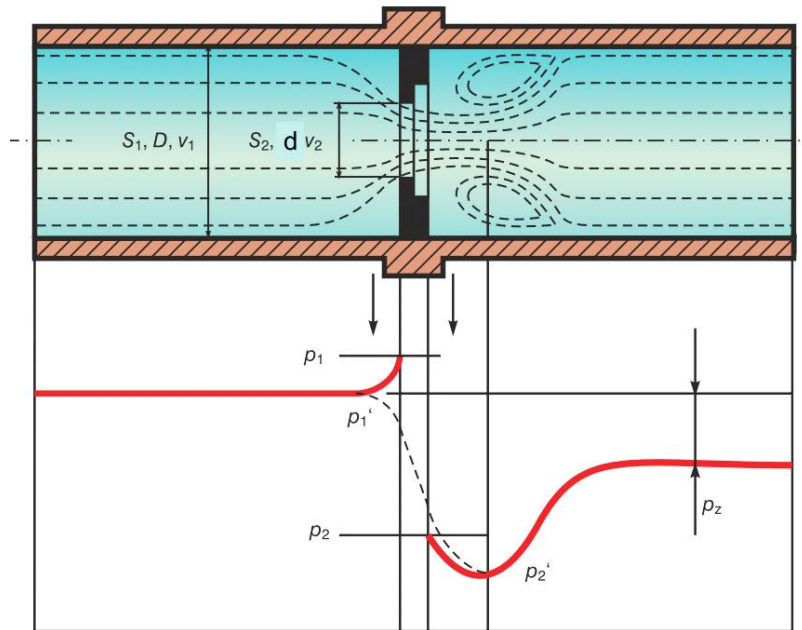
Přístroje se využívají pro poměrně malá průtoky, protože mohou pracovat pouze při nízkých otáčkách. Měřená kapalina musí být čistá (filtrace). Jsou omezeny tlakem, teplotou a viskozitou. Používají se často v ropném průmyslu a rafinériích jako měřidla bilanční k měření proteklého množství mazutu, topných olejů a tekutin o viskozitě výrazně závislé na teplotě. Přístroje nejsou vhodné k použití u vybudované tratě v laboratoři.

2.7.6 Průřezové průtokoměry [3]

Měření průtoku tohoto průtokoměru je nepřímé. Princip měření využívá jevy provázející zúžení průtočného průřezu. Do potrubí se umístí škrticí orgán, zmenšující průtočný průřez. Rozdíl statických tlaků v tekutině před zúžením (p_1) a za zúžením (p_2), $\Delta p = p_2 - p_1$ snímáný rozdílovým tlakoměrem, je závislý na hodnotě průtoku. Rozložení tlaku na škrticím orgánu je charakteristické viz obr. 3.7. Škrticí orgán způsobuje trvalou

tlakovou ztrátu Δp_z , která je tím větší, čím více uzavřený průřez redukuje a čím větší je průtok redukováným průřezem. Výstupním signálem je u většiny čidel tlaková diference. Průtok Q_v tekutiny se určí z rovnice:

$$Q_v = \alpha \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$$



Obr. 2-8: Proudění a průběh tlaků na cloně (v_1, v_2 – rychlost v průřezu S_1 , popř. S_2 , p_1, p_2 – statický tlak u stěny před zúžením, popř. v místě zúžení, p_1' a p_2' značí totéž v ose potrubí, p_z – tlaková ztráta na škrticím orgánu) [3]

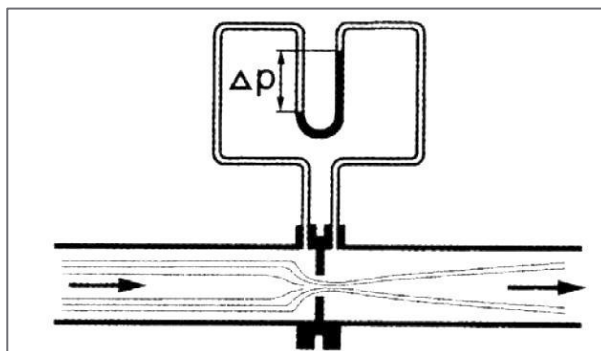
Pro praktické použití je nezbytná reprodukovatelnost tvaru škrticích orgánů (tj. geometrická přenosnost) na různé rozměry potrubí a tím použitelnost pro široké spektrum poměrného zúžení $\beta = \frac{d}{D}$. Průtokový součinitel α musí být konstantní pro daný typ škrticího orgánu v celém měřicím rozsahu.

a. Clona

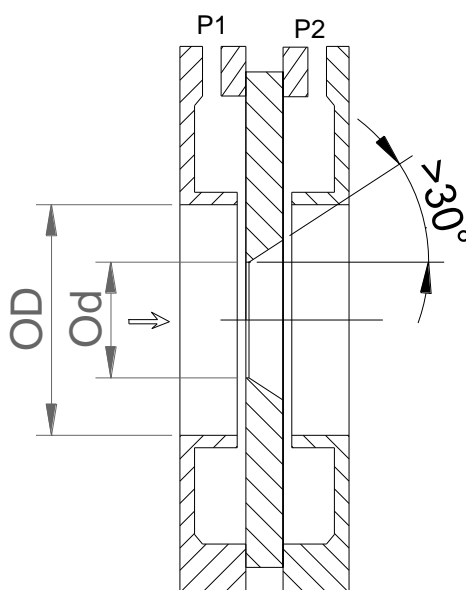
Nejjednodušším a nejčastěji používaným škrticím členem je clona pro kruhová potrubí. Používá se pro potrubí od průměru DN 50 až DN 1000 a poměrné zúžení $\beta = 0,05$ až $0,75$. Malá délka umožňuje snadnou montáž a výměnu. Clona způsobuje poměrně velkou tlakovou ztrátu Δp_z :

$$\Delta p_z = (1 - \beta^2)(p_1 - p_2)$$

Clona se montuje do přímé části potrubí dostatečné délky (asi 15D před clonou a 5D za clonou). Uklidňující dráha musí být tím delší, čím větší je poměrné zúžení. Tlaková odběry mohou být bodové (jediný tlakový odběr před clonou a jediný za clonou), nebo komorové (několik otvorů po obvodu, popř. štěrbina po celém obvodu). Komorové odběry se používají u clon pro světlosti potrubí do 300 mm.



Obr. 2-9 Princip měření průtoku pomocí clony [1]



Obr. 2-10: Normalizovaná clona s komorovým odběrem tlaků

Clonové měření jsou jednoduché a levné měřicí zařízení, kalibrace se provádí proměřením rozměrů a kalibrací jednotlivých snímačů a uznávaný standard pro měření průtoku. Ale clonové měření je nelineární závislost, malý měřicí rozsah a velká tlaková ztráta.

b. Dýza

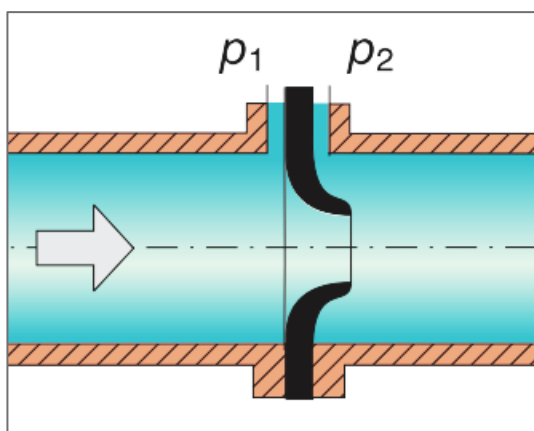
Je složitější než clona, proto její použití méně časté. Dýzou lze měřit průtok tekutin v potrubí o světlosti od DN50 do DN630, při poměrném zúžení 0,05 až 0,80. Dýza se používá všude tam, kde jsou větší požadavky na přesnost měření. Objemový průtok pro dýzy s kruhovým průřezem:

$$Q_v = \alpha \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$$

a tlaková ztráta

$$\Delta p_z = (1 - 1,4\beta^2)(p_1 - p_2)$$

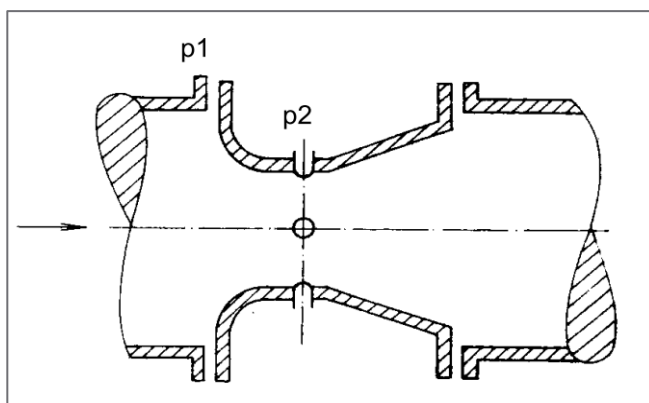
Výroba normalizované dýzy je náročnější než clona, z důvodu nutnosti velké tvarové přesnosti. Užívá se v potrubích o průměrech 50 ÷ 500 mm při poměrném zúžení 0,05 ÷ 0,64. Výhody dýz je žádné pohyblivé části, dobrá časová stálost, menší tlaková ztráta oproti clonám.



Obr. 2-11: Dýza [3]

c. Venturiho trubice

Venturiho trubice patří k často používaným škrticím členům. Vznikne napojením difuzoru na normalizovanou dýzu. Nevýhodou Venturiho dýzy je značná stavební délka a náročná výroba. Používá se pro měření průtoku tekutin v potrubí o světlosti od DN50 do DN500, při poměrném zúžení 0,05 až 0,6. Tlaková ztráta je nejmenší ze všech škrticích členů (asi 10 % tlakové ztráty u clony), přesnost vyšší. Nevýhodou je poměrně vysoká cena tohoto škrticího orgánu, proto se využívá velmi málo.



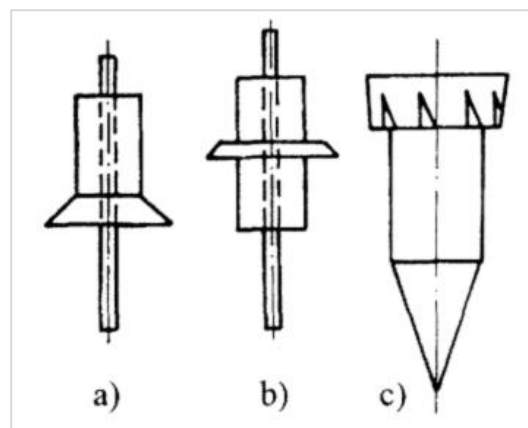
Obr. 2-12 Venturiho dýza[1]

p_1 – statický tlak před zúžením, p_2 – statický tlak v místě zúžení

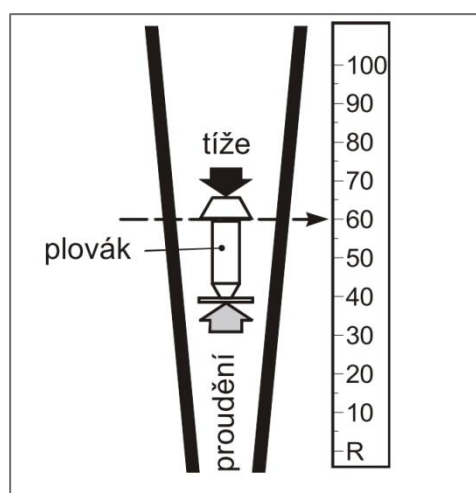
2.7.7 Plováčkové průtokoměry [2] [4]

Konstrukce a princip: těleso plováčkového průtokoměru tvoří svislá kuželovitá trubice, jejíž kruhový průřez se směrem nahoru zvětšuje. Uvnitř trubice je umístěn plovák, který tekutina nadnáší směrem vzhůru. Průtočný průřez S se mění, zatímco tlakový spád p_1 a p_2 na plováku zůstává prakticky stále stejný. Na plovák při jeho obtékání způsobí směrem vzhůru vnitřní řídicí síla F_i daná silových účinků proudu F_p , dynamického účinku proudu F_d a třecí síly F_t , směrem dolů vnější řídicí síla F_e , vyvozená hmotností plováčku.

Existuje řada konstrukcí a tvarů plováčků podle druhu měřené tekutiny a velikosti průtoku. Poloha plováku se zjišťuje buď přímým čtením na stupnici přístroje, nebo se snímá elektricky, pneumaticky (systémem tryska – klapka) nebo se mechanicky pomocí elektromagnetické spojky se přenáší na ukazatel přístroje. Používané signály jsou od 0,25 do 20 mA, a od 0 do 10 V. Pneumatický signál je od 20 do 100 KPa vyveden pro dálkový přenos a další použití.



Obr. 2-13: Tvary plováčků: a), b) vedené, c) rotující [4]



Obr. 2-14: Tvary plováčků: a), b) vedené, c) rotující [4]

Výhodou plováčkových průtokoměrů je jejich nasazení i pro měření velmi malých a středních průtoků a malá náběhová délka. Plovákové průtokoměry pracují v rozsahu od 10 až 100% jmenovitého průtoku pro velmi rozličné jmenovité průtoky ($0,1 \text{ lh}^{-1}$ až $50 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ vody a $0,1 \text{ lh}^{-1}$ až $630 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ vzduchu). Přenos je lepší než 2%. Rozsah teplot pro použití plováčkových průtokoměrů se pohybuje od -80 až $500 \text{ }^{\circ}\text{C}$, provozní tlak se pohybuje v rozsahu 1,6 až 10 MPa. Takže tyto přístroje jsou nevhodné k použití vybudované tratě v laboratoři.

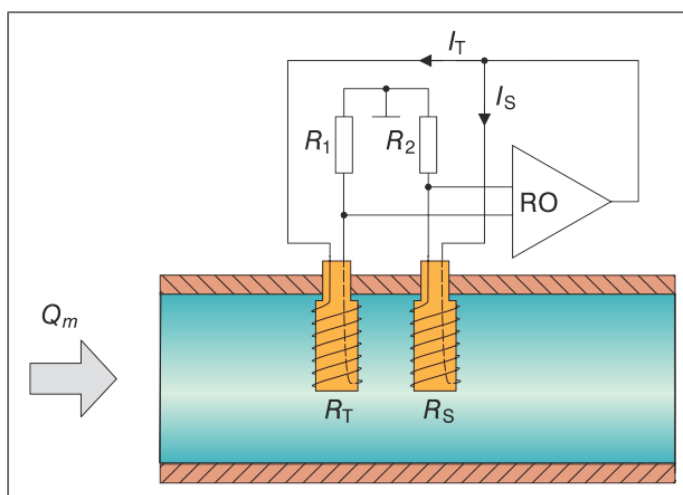
2.7.8 Termoelektrické - anemometrické průtokoměry [1] [5]

Hmotnostní termoanemometr je tepelný hmotnostní průtokoměr, jehož čidla teploty zasahují přímo do proudící tekutiny a vyhodnocuje se chladicí účinek nucené konvekce na vyhřívané čidlo. V potrubí jsou umístěny dva odporové teploměry, a to buď za sebou vzhledem ke směru toku, nebo vedle sebe.

Zdroje vyhřívání termoanemometru jsou dvojího typu. První z nich využívá sondu s konstantním elektrickým proudem, změnou průtoku se mění teplota sondy a tuto změnu teploty měříme. Druhou možností jsou termoanemometry se sondou, která má konstantní teplotu. U

těchto termoanemometrů zjišťujeme velikost elektrického proudu, která musí být taková, aby sonda i při změně rychlosti proudění měla pořád stejnou hodnotu. Velikost elektrického proudu je úměrná hmotnostnímu průtoku.

Množství tepla, které je odebíraného na sondě tekutinou, je závislé na rychlosti proudění, hustotě, tepelné vodivosti a na teplotě proudícího média, kterou je potřeba měřit. V rovnovážném stavu je množství tepla dodané ohřevem elektrickým proudem



Obr. 2-15: Princip plovákového čidla [1]

R.I² rovné množství odvedeného tepla. Závislost proudu I na hmotnostní proud Q_m je možné aproximovat rovnicí:

$$I_s = a + b\sqrt{Q_m}$$

kde je a konstanta respektující přestupy tepla do okolí při nulovém průtoku (vedení, záření) a b závisí na geometrii čidla teploty a na hustotě, viskozitě, tepelné vodivosti a tepelné kapacitě měřeného média. Hodnoty konstant zahrnují také vliv Reynoldsova čísla a čísla Prandtlova.

Čidlem termoanemometrů bývá platinový drátek o průměru 0,01 mm až 0,1 mm, který je zpravidla žhavený na teplotu 200 až 500 °C. Výhody termoanemometrů jsou velký měřicí rozsah a velký rozsah provozních podmínek a jejich nevýhody jsou nižší přesnost měření, jsou nutné kalibrace pro jiná měřená media a složité manipulace. Tento přístroj není vhodný k použití u budované tratě v laboratoři.

2.7.9 Kalorimetrické průtokoměry [1] [5]

Kalorimetrické průtokoměry je založen na závislosti výměny tepla mezi zdrojem a okolím, které tvoří proudící tekutina, na hmotnostním průtoku. U kalorimetrických průtokoměrů je zdroj tepla umístěn do středu proudového profilu a teplota se snímá před a za tímto zdrojem tepla. Průtok pak určujeme z rozdílu teplot. Kalorimetrický hmotnostní průtokoměr vyhodnocuje míru oteplení způsobenou prouděním hmoty. Kalorimetrický senzor bývá standardně vytvořen na tenké obtokové kapiláře. Tato tenkostěnná kapilára má určený průměr (přibližně 1 mm) a prochází skrze ni jen určitá část průtoku vzhledem k celkovému průtoku měřeného média procházejícího průtokoměrem. Tok v kapilárním potrubí musí mít laminární charakter. Proto je třeba zajistit laminární tok i v přímém potrubí, aby byl zachován konstantní poměr průtoku mezi obtokem a přímým potrubím.

Kalorimetrické průtokoměry se využívají zejména při měření malých průtoků čistých kapalin a plynů v laboratorních podmínkách. Průtokoměry jsou často potřebné ve vědeckých a vývojových laboratořích, při výrobě polovodičů, pro přípravu směsí plynů dynamickým směřováním, v lékařské technice apod. Nedostatkem je nutná znalost složení média a s tím související nezbytnost recalibrace průtokoměru pro jiné médium. Měřicí rozsahy se pohybují od 3 ml až do desítek litrů za minutu. Takže tyto přístroje jsou vhodné k použití u vybudované tratě v naší laboratoři.

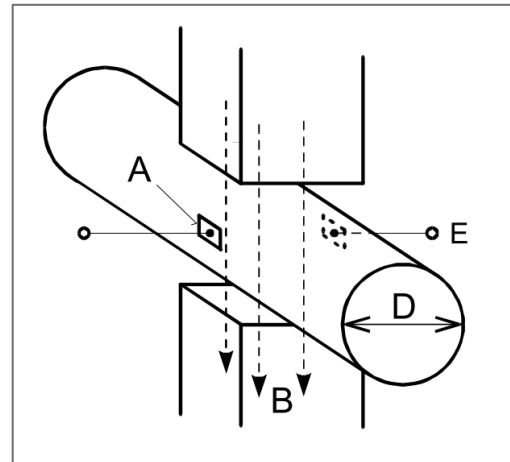
2.7.10 Indukční průtokoměr [1] [4]

Indukční průtokoměry fungují na principu Faradayova zákona elektromagnetické indukce. Tedy rychlost proudění kapaliny, kterou reprezentuje pohyb vodiče, indukuje v homogenním magnetickém poli elektrické napětí. Permanentní magnet nebo elektromagnet vytváří magnetické pole procházející potrubím i kapalinou. Úsek potrubí mezi póly magnetu musí být z neferomagnetického a nevodivého materiálu. Na vnitřním průměru měřicí trubice průtokoměru jsou zabudovány dvě elektrody pro snímání indukovaného napětí. Spojnice elektrod je kolmá na směr magnetických siločar. Pohybuje-li se kapalina rychlostí v v magnetickém poli o indukci B , indukuje se v ní elektromotorická síla E podle vztahu:

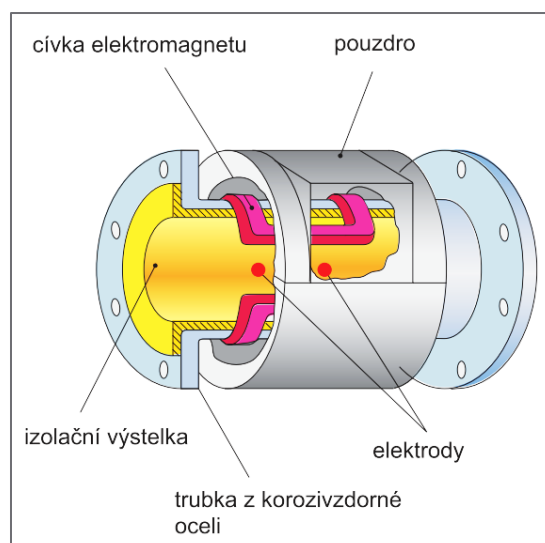
$$E = Bdv$$

A výstupní signál indukčního průtokoměru je lineární funkcí průtoku Q_V :

$$E = \omega BD = \frac{4B}{\pi D} Q_V = k Q_V$$



Obr. 2-16: Indukční průtokoměr [1]



Obr. 2-17: Řez indukčním průtokoměrem [4]

Převodníky signálu bývají programovatelné a lze nastavit rozsah měření průtoku, jednotky, typ výstupu, kalibrační konstantu, monitorovat údaj o proteklém množství a mnoho dalších parametrů. Nevýhodou použití magneticko-indukčních průtokoměrů je nutnost trvalého zatopení snímacích elektrod průtokoměru, aby nedošlo k jejich destrukci.

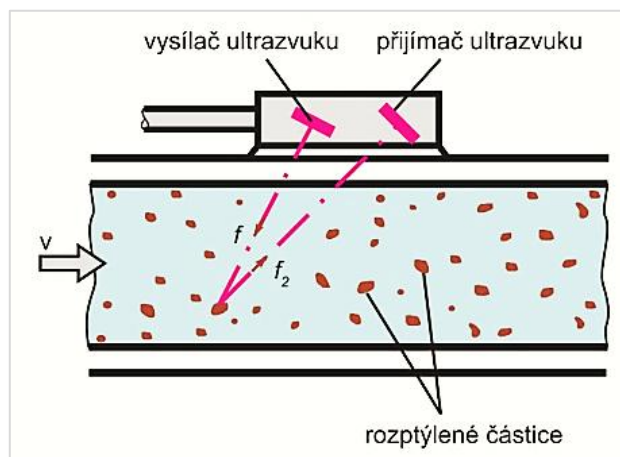
Indukční průtokoměry se používají pro měření prakticky všech druhů kapalin s nízkou i velmi vysokou viskozitou. Pracují s nulovou tlakovou ztrátou v měřicím rozsahu od 0,005 až 12 000 m³h⁻¹ při teplotách od -20 až 200 °C. Přesnost se pohybuje okolo 0,25 % z měřené hodnoty. Indukční průtokoměry jsou relativně vhodné k použití u vybudované tratě v laboratoři.

2.7.11 Ultrazvukové průtokoměry [2] [4]

Ultrazvukové průtokoměry jsou měřidla bez pohyblivých částí. Princip měřicí metody spočívá v tom, že rychlost proudící tekutiny způsobuje přírůstek nebo úbytek rychlosti šíření ultrazvukových vln v daném prostředí podle toho, šíří-li se ultrazvuková vlna ve směru nebo proti směru proudění. Průtokoměry ultrazvukové se dělí na dvě skupiny:

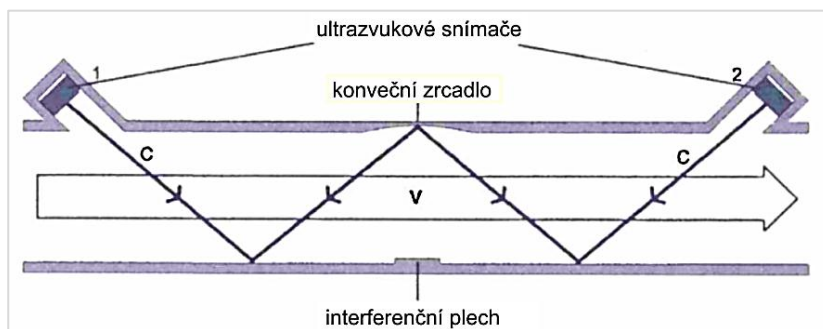
- Průtokoměry využívají Dopplerova principu, který spočívá ve vysílání ultrazvukových vln do tekutiny, přičemž přijímají vlnění odražené od pevných částic nebo od bublin, rozptýlených v tekutině.

Rozdíl odcházejících a vracených frekvencí je potom úměrný rychlosti proudění kapaliny. Tyto průtokoměry neovlivňují měřený průtok, protože nezasahují do proudícího média, a lze je s výhodou využít k měření průtoku kalů a znečištěných tekutin.



Obr. 2-18 Průtokoměr založený na Dopplerově jevu [4]

- Průtokoměry měření doby průchodu ultrazvukového signálu, které jsou vysílány ve formě impulsů a vyhodnocují se časové rozdíly při průchodu impulsů v obou směrech šíření. V potrubí těchto průtokoměrů jsou zabudovány dvě dvojice elektroakustických měničů (vysílače a přijímače ultrazvuku).



2-19: Průtokoměry měření doby průchodu ultrazvukového signálu [6]

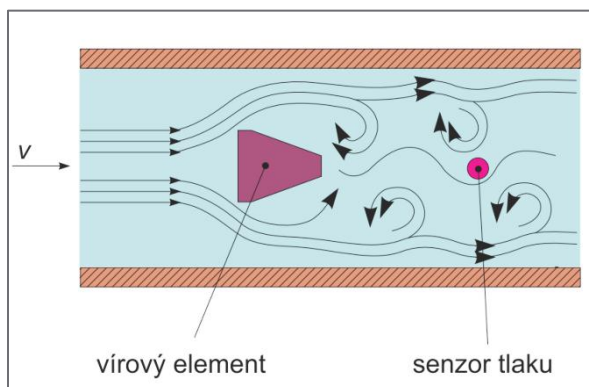
Ultrazvukové průtokoměry jsou náročné na technické provedení a jejich kalibrace je poměrně obtížná. Mají ale nulovou tlakovou ztrátu, měří v rozsahu od 2 až 400 000 m^3h^{-1} a do tlaku 4 MPa při teplotách od -200 až 250°C. Přesnost je lepší než 1% z měřené hodnoty. Ultrazvukové metody lze využít při měření malých i velkých průtoků jak čistých, tak znečištěných a agresivních kapalin, pro měření pulsujících průtoků i měření průtoku kalů a tavenin za vysokých teplot.

Ultrazvukové průtokoměry jsou sice náročné na technické provedení, mají však mnoho předností, může se použít ve mnohem oblastech: petrochemický a chemický průmysl, rozvody vody (především měření na velkých světlostech), měření všech nevodivých médií, měření průtoku vzduchu, zemního plynu, odpadních vod, parního kondenzátu. Ač ultrazvukové průtokoměry mají výhody v měření rozsahu průtoků a teplot, jejich technické provedení a kalibrace je obtížná, jsou nevhodné k použití u vybudované tratě v laboratoři.

2.7.12 Vírové průtokoměry [2] [4]

Princip vírových průtokoměrů jsou založeny na měření frekvence tzv. Karmánových vírů, které vznikají za obtékaným tělesem v proudovém poli. Frekvence vírů f za tělesem vkládaným kolmo na směr proudění je přímo úměrná rychlosti proudění w . Vložené těleso musí mít tvar zaručující stabilitu pravidelného snímání frekvence víru, což splňují např. prizmatická tělesa s rovnou náběhovou čelní stěnou a

definovanou rovinou snímání vírů. Kromě konstantní složky rychlosti vzniká ještě složka tangenciální a radiální tlakový spád závislý na tvaru profilu způsobí spirálovitý precesní pohyb jádra. Frekvence spirálovité rotace se snímá tenzometrem nebo se registrují změny teploty termistorem.



Obr. 2-20: Principiální uspořádání vírového průtokoměru[4]

Rozsah měřeného průtoku je u kapalin asi 14 až 8700 m³h⁻¹ (horní hranice omezena vznikem kavitace), u plynů asi do 10000 m³h⁻¹ (horní hranice omezena nadměrným rozpínáním). Vyrábějí se pro teplotu média do 200 °C a tlak do 10 MPa, s chybou menší než 1 %.

Výhodou vírových průtokoměrů je relativní necitlivost na změny teploty, tlaku nebo hustoty média. Jako další výhodu můžeme zmínit také jejich velmi malou tlakovou ztrátu a také možnost užití těchto průtokoměrů v rozsahu 20:1. Mezi nevýhody patří, že tyto průtokoměry nelze použít při velmi malých rychlostech proudění a nelze je použít ani pro měření průtoku tekutin s viskozitou přesahující 30 mPa.s. K použití u vybudované tratě v laboratoři nejsou vhodné protože, výsledky nebudou přesné, když budeme měřit malé rychlosti proudu.

2.7.13 Coriolisovy průtokoměry [2] [5]

Měřicí princip snímače hmotnostního průtoku spočívá ve využití Coriolisovy síly F_c , která působí na těleso o hmotnosti m pohybující se přímočaře rychlostí v v ω soustavě otáčející se úhlovou rychlostí ω . Platí

$$\vec{F}_c = 2m(\vec{\omega} \times \vec{v}) = m\vec{a}_c$$

Tato síla vzniká při průtoku hmotného média ve vibrujících měřících trubicích. Jako důsledek působení Coriolisovy síly vzniká fázový posuv v rezonančním kmitání trubic,

který je úměrný hmotnostnímu průtoku tekutiny trubicí. Frekvence vlastních kmitů potom odpovídá hustotě tekutiny:

$$\rho = \frac{dm}{S \cdot dl} = \frac{dF_C}{S \cdot dl \cdot 2\omega \cdot \vec{w}}$$

Hmotnostní průtok rovnice:

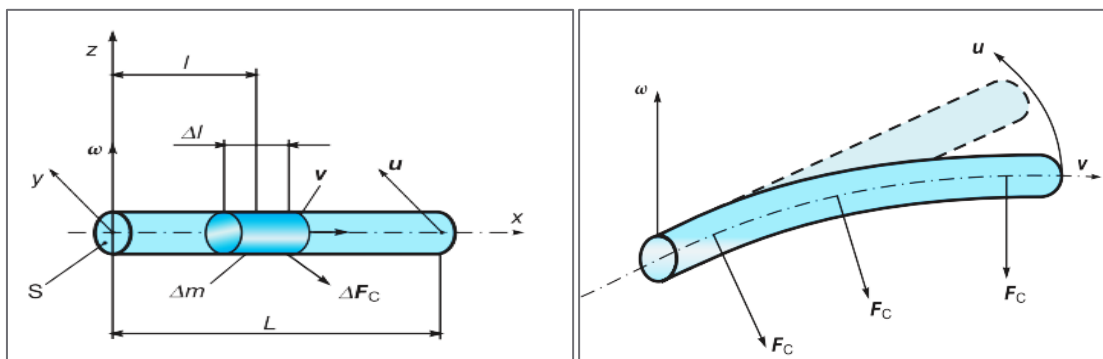
$$Q_m = \frac{dF_C}{dl \cdot 2\omega}.$$

Hmotnostní průtok je lineární funkcí Coriolisovy síly, která způsobuje krouticí moment $d\vec{M}$:

$$d\vec{M} = [\vec{l} \times (d\vec{l} \times \vec{\omega})] 2Q_m$$

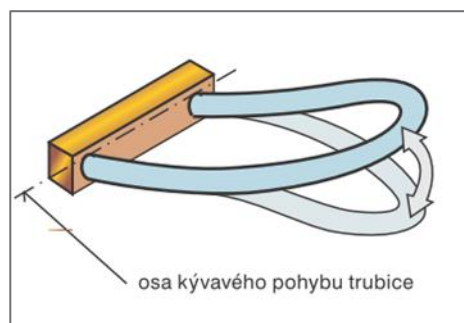
Integrací pro délku L dostaneme celkový krouticí moment

$$M = \int_0^L l \cdot \omega \cdot 2 Q_m \cdot dl = L^2 \omega Q_m$$

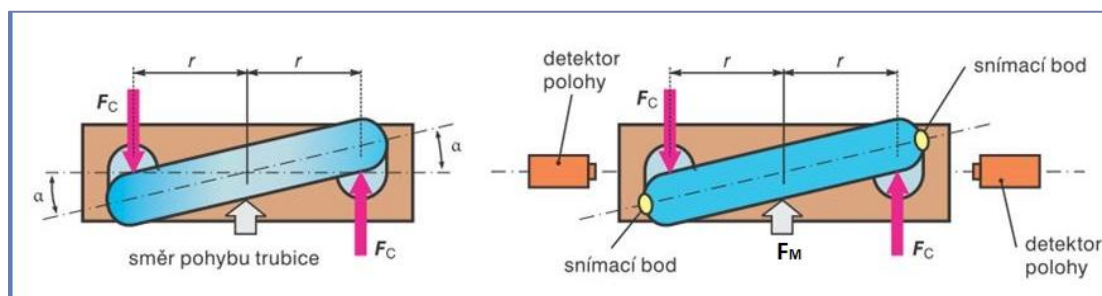


Obr. 2-21. Princip Coriolisova průtokoměru [5]

Následující obrázky ukazují uspořádání měřicí trubice ve tvaru „U“



Obr. 2-22 Pohyb při bez proudící tekutiny [5]



Obr. 2-23 Pohyb trubice při proudící tekutině [5]

V případě, že trubicí protéká tekutina rychlostí \vec{w} , budou na obě ramena U trubice působit harmonicky proměnné Coriolisovy síly \vec{F}_C opačné orientace ve vtokové a ve výtokové části trubice. Důsledkem působení páru sil vznikne krouticí moment \vec{M} , který způsobí zkroucení U trubice o úhel α :

$$\vec{M} = 2r \cdot \vec{F}_C$$

Maximální úhel zkroucení nastává při maximální velikosti vektoru \vec{F}_C tedy při maximální hodnotě vektoru úhlové rychlosti $\vec{\omega}$ při průchodu středu trubice klidovou polohou. Na obr. 2-17 je zobrazen maximální zkrut při pohybu U trubice směrem nahoru. Vyhodnocení maxima periodicky proměnného krouticího momentu se provádí měřením časového intervalu Δt mezi následujícími průchody levého a pravého snímacího bodu nulovou polohou (via obrázek) prostřednictvím polohových snímačů umístěných ve vzdálenosti b od základní desky U trubice:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{2\Delta s}{b \cdot \omega}$$

Pro malý úhel α : $\Delta s \approx d \cdot \alpha$ lze nahoře vzor přepsat na tvar

$$\Delta t = \frac{2d \cdot \alpha}{b \cdot \omega}$$

Tuhost trubice způsobí direktivní krouticí moment vůči ose symetrie obou půl trubic $M_D = k \alpha$, k je tuhost. Při plnění podmínky $M_D = M$ nastane rovnovážný stav, takže $k \propto 2F_C \cdot d$ ($F_C = 2L\omega Q_m$).

Takže

$$\Delta t = \frac{8d^2 L Q_m}{b \cdot k}$$

→ Q_m závisí na úhlové rychlosti ω .

Provedení měřicích trubic je celá řada, např. lyrovité jednoduché i vícenásobné, polouzavřené a uzavřené a mnoho dalších. Princip snímání průtoku na všech trubicích je však stejný.

Coriolisův průtokoměr je přístroj na měření hmotnostního průtoku kapaliny trubicí a její hustoty, Coriolisův průtokoměr má velkou přesnost a jejich měření nezávisí na dalších vlastnostech kapaliny. Coriolisovy průtokoměry s elektronickou vyhodnocovací částí pracují pro rozsahy průtoků od 0,05 až 18000 kg.min⁻¹ s přesností do $\pm 0,1\%$ z měřené hodnoty. Rozsah pracovních teplot je od -240 až 200 °C při maximálním tlaku měřené tekutiny 30 MPa. Všechny hmotnostní Coriolisovy průtokoměry mají vysokou tlakovou ztrátu.

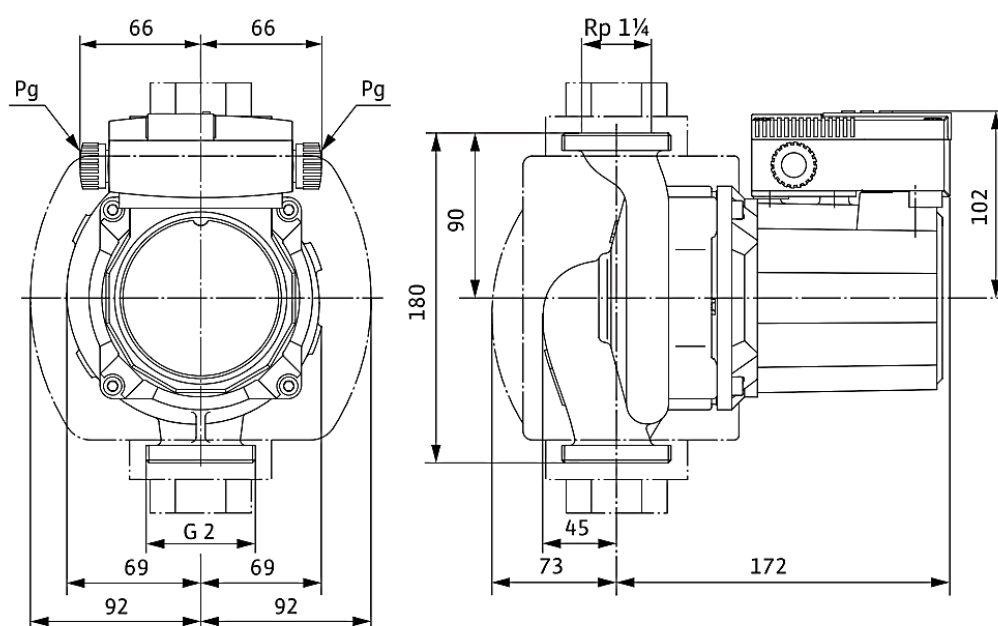
Coriolisovy průtokoměry se používají na měření pro všechny kapaliny plyny, můžou měřit přímo průtok, hustotu, teplotu a viskozitu. Princip měření je nezávislý na fyzikální vlastnost tekutin. Výsledky nejsou ovlivněny vůči profilu průtoku. Použití průtokoměrů na potravinářský a petrochemický průmysl, chemický průmysl, váhové dávkování a ekonomicky zhodnocované stáčení, plnění nádob, řízení spotřeby paliva. Coriolisův průtokoměr je vhodný k použití v trati v laboratoři.

3 Trať na měření průtoku v laboratoři.

3.1 Popis měřicí tratě – viz obr. 3-1

Trať obsahuje čerpadlo Wilo TOP S30/10, ventil na řízení průtoku, rtuťový teploměr, clon s vnitřním průměrem je 13,15 mm, expanzní nádoby, coriolisový sensor Sitrans F C MASSFLO MASS 6000, coriolisové trubice Sitrans F C MASSFLO MASS 2100, kulové ventily na vstupy a výstupy zařízení. Všechny zařízení jsou zabudovány sériově pomocí kovové trubice s vnitřním průměrem 37mm.

3.2 Čerpadlo Wilo TOP S30/10 DM PN10 [7] [10]



Obr. 3-1: Náčrty čerpadla Wilo TOP S30/10 DM PN10 [7]

Specifikace:

Max. čerpací výkon: 10 m³/h

Max. dopravní výška: 11 m

Druhu proudu: 400 V

Tlak provozní: standardní - 6 bar (600 KPa)

speciální - od 10 až 16 bar

Technické údaje:

Přípustné teplotní rozmezí: od -20 °C až +130 °C, krátkodobě (2 h) až +140 °C

Rychlost: 1950 / 2250 / 2650 rpm

Síťová přípojka:

1~230 V, 50 Hz

3~230 V, 50 Hz

3~400 V, 50 Hz

Proud při 3~400V: 0,35/0,48/0,78A

Proud při 3~230: 0,61/0,84/1,35A

Jmenný výkon P_1 : 180 W

Spotřeba energie: 195/270/380 W

Způsob ochrany: IP44

Třída izolace: F

Hmotnost cca: 6,3 kg

Čerpané médium: otopná voda.

Závitové šroubení: Rp 1 ¼

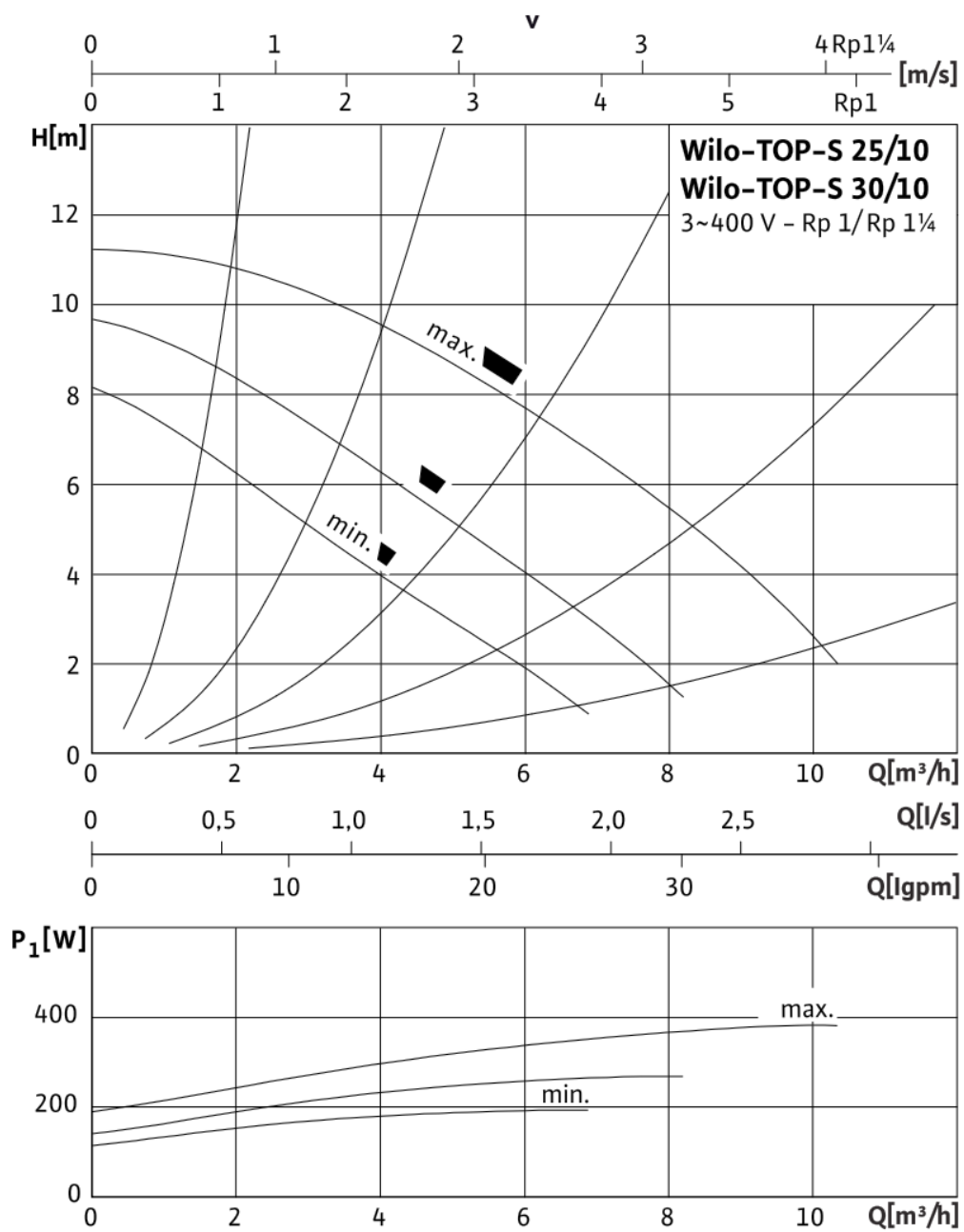
Materiály:

Skříň čerpadla: Šedá litina

Oběžné kolo: Plast

Hřídel: Ušlechtilá ocel

Ložisko: uhlík, impregnovaný kovem

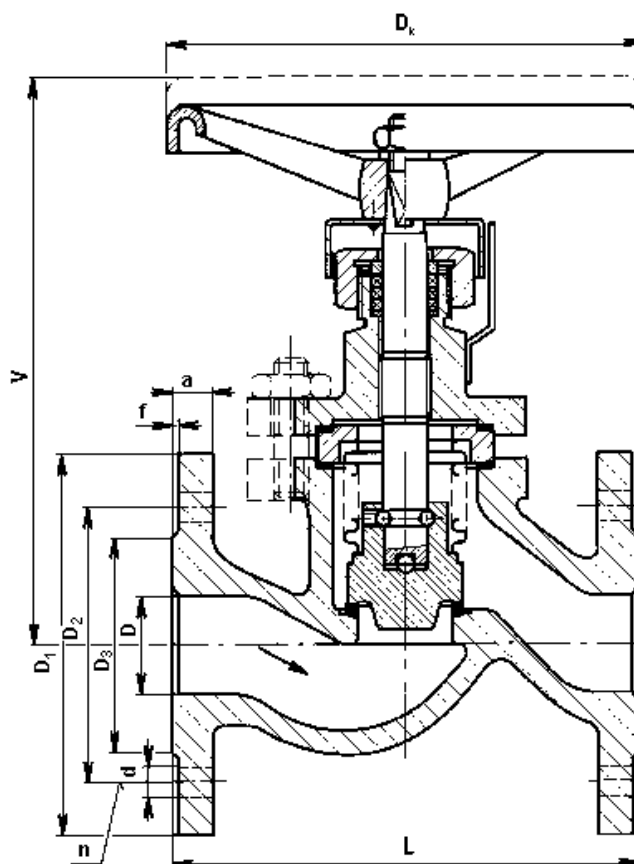


Graf. 2: Provozní charakteristiky čerpadla Wilo TOP S30/10 DM PN10 [10]

3.3 Ventil na řízení průtoku - ventily uzavírací a regulační [8]

Je ventil uzavírací přímý, s regulační kuželkou, z uhlíkaté oceli, hlavicevový, s ručním kolem, s jistící ucpávkou.

Je používáno jako regulační armatura pro hrubou regulaci průtoku pracovní látky.



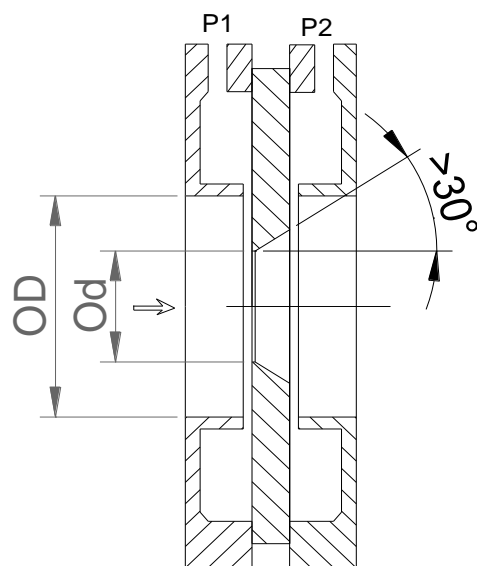
Obr. 3-2: Náčrt ventilu regulační a uzavírací [8]

3.4 Clona a trubice [9]

Materiál clony a trubice jsou z uhlíkaté ocelolitiny. Trubice má tvar podle schéma, vnitřní průměr trubice je $\varnothing D = 37$ mm.

Clona zabudována do vodorovného úseku výtlačného potrubí přestavuje čidlo měřidla a zužuje v určitém místě průtočný průřez. Zuřeným průřezem protéká voda vyšší rychlostí a tím se mění i další stavové veličiny, např. statické tlaky, teplota a jiné. Naměřený rozdíl tlaků před a v místě zúžení Δp_{cl} závisí na rychlosti proudění a je měřítkem okamžitého průtoku.

Tlak před clonou p_{1cl} a teplota na cloně t_{cl} určují měrnou hmotnost proudící vody. Instalovanými přípojkami pro odběr statických tlaků ve spodní části tělesa k měření rozdíl tlaků. Clona má tvar mezikruží o vnitřním průměru: $d_{cl} = 13,15$ mm. Před clonou ve vzdálenosti cca 5 krát vnitřního průměru je vložena teploměrná jímka s teploměrem k měření teplota na cloně t_{cl} .



Obr. 3-3: Clona v laboratoři

3.5 Sitrans F C MASSFLO MASS 6000 IP67 [11] [13]



Obr. 3-4 Sitrans F C MASSFLO MASS 6000 IP67 [11]

Technické údaje:

Stupeň krytí	IP67 / NEMA 6
Měření	hmotnostní průtok, objemový průtok, podíl, Brix, hustota, Teplota
Výstupy	1 proudový, 1 impulsní/frekvenční a 1 reléový nebo 3 proudové, 2 impulsní/frekvenční
Vstup	1 optoelektronický vazební člen: nastavení nulového bodu nebo dávka (start/stop/hold)
Měření	Hmotnostní průtok, celková hmotnost, objemový průtok, celkový objem, hustota, teplota, frakční průtok
Sériové rozhraní	HART, Profibus PA, Profibus DP, Devicenet, CANopen, Modbus RTU
Displej	LCD podsvětlený 3-řádkový alfanumerický
Napájecí napětí	87-253 V střídavý proud, 50-60 Hz, max. výkon 26 VA
	18-30 V ss. nebo 20-30 V stř.
Pojistka	T 400 mA, T 250 V (IEC 127); bez možnosti výměny operátorem
Galvanická izolace	Všechny vstup a výstup jsou galvanické izolaci, izolační napětí je 500V
Nastavení nulový bod	Ručně pomocí klávesnice nebo dálkově s použitím digitálního vstupu
Okolní teplota	Provoz: -20 až 50°C Během skladování: -40 až 70°C
Vlhkost	Max. 95%

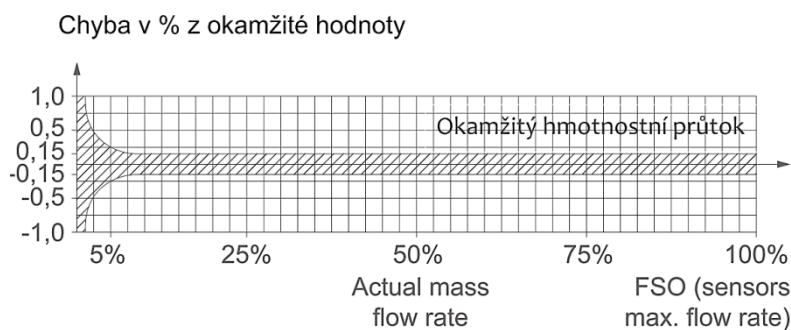
Tab. 1: Technické údaje MASS 6000 [11]

Výhody MASS 6000

MASS 6000 je založen na nejnovější vývoj v digitální technologii zpracování signálu - je navrhováno pro vysoký výkon, rychlé reakce a 30 Hz obnovovací frekvence, rychlé dávkovací aplikace, vysoké odolnosti proti hluku prostředí, snadná instalace, operování a udržení. MASS 6000 nemá žádný vliv kolísání tlaku, teploty, hustoty, elektrické vodivosti či viskozity.

Vysoká přesnost – 0,10 % hmotnosti – a opakovatelnost zaručují maximální kvalitu a minimalizují ztráty. Měření více parametrů – hmotnostní průtok, objemový

průtok, hustota, frakční průtok a teplota. Měření neovlivňované změnami tlaku nebo teploty. Každý průtokoměr je před dodáním prvotně z kalibrován od výrobce. Není zapotřebí žádná údržba: žádné pohybující se součástky.

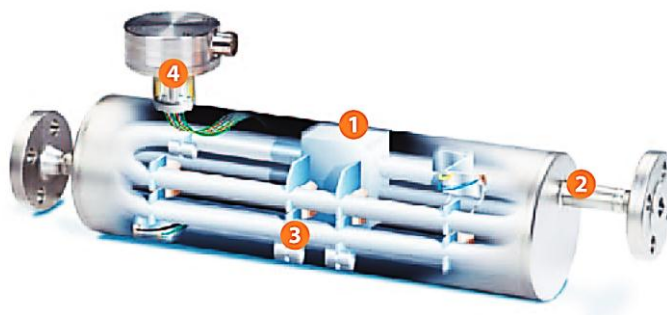


Graf. 3: Přesnost v závislosti na skutečném průtoku [13]

Technologie SENSORPROM usnadňuje nastavení převodníku; všechny hodnoty a nastavení zadané uživatelem se automaticky ukládají do paměti. Automatické přeprogramování náhradního převodníku umožňuje výměnu za méně než 5 minut.

3.6 Sitrans F C MASSFLO MASS 2100 DI 25 [12] [13]

MASS 2100 DI 25 je vhodný pro přesné měření hmotnostního průtoku pro všechny druhy kapalin a plynů. Vhodný design poskytuje nižší tlakové ztráty v důsledku stejný vnitřní průměr v průběhu celého senzoru a jediné trubky konstrukce bez vnitřních svarů, snížení průtoku nebo rozbočovače nabízí optimální hygienu, bezpečnost a CIP (Cleaning In Place) čistitelnost. Senzor MASS 2100 IP 25 může být připojen k převodníku MASS 6000 pro kompaktní IP 67.



Obr. 3-5: Sitrans F C MASSFLO MASS 2100 DI 25 [12]

1. Vysoké odolnosti proti měnícím se procesovým podmínkám a vibracím.
2. Pouze jedna trubka bez svarů. Ideální pro aplikace CIP.
3. Bezpečná konstrukce trubky. Použití výborný jakostní nerez ocel nebo Hastelloy pro korozivní aplikace.
4. Senzory jsou jiskrově bezpečné podle Ex ia IIC (zóna 0) a splňují nejpřísnější průmyslové požadavky.

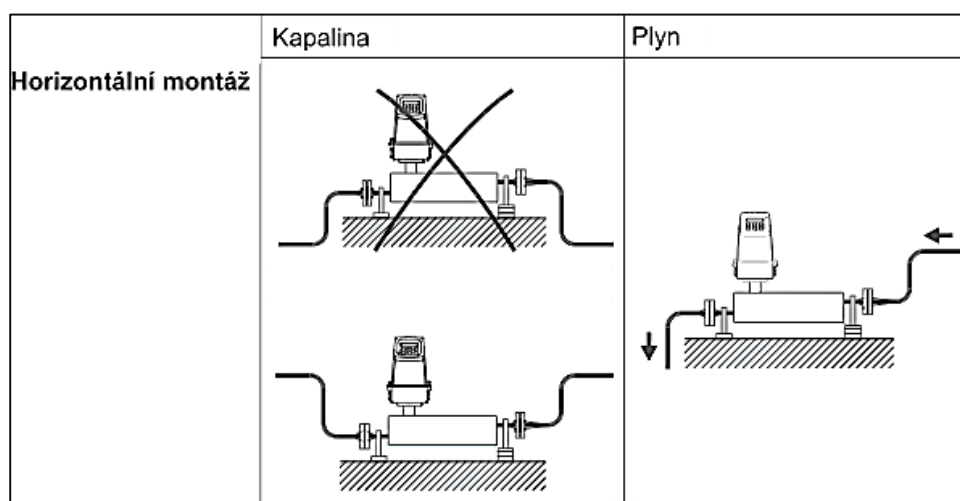
Technické údaje:

Verze	DI 25 mm
vnitřní průměr trubice	29,7 mm
Tloušťka stěny trubice	2 mm
Hmotnostní průtok měření rozsah	0...25000 kg/h
Hustota	0...2,9 g/cm ³
Frakce	0...100 °Brix
Teplota - standardní	-50 až 180 °C
Mez tlak měřicího průtoku: -nerez - Hastelloy C22	110 bar
	185 bar
materiál měřicí trubice, příruba závit	Mat. no 1.4435 (AISI 316L) (nerez) Mat. no 2.4602 (Hastelloy C22)
Příruba: EN 1092-1, PN 40 ANSI B16.5, Class 150 ANSI B16.5, Class 600	DN 25 1" 1"
Šroubové připojení (PN 16/25/40) DIN 11851 ISO 2853/BS 4825 part 4	DN 32 38 mm
Závit ISO 228/1, PN 100 ANSI/ASME B1.20.1, PN 100	G1" male 1" NPT male
Hmotnost	48 kg

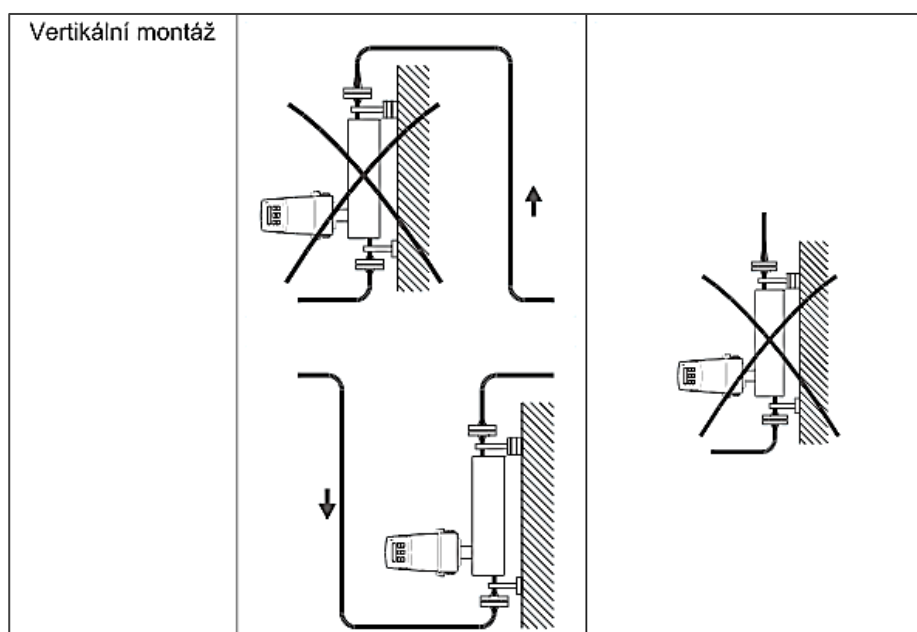
Tab. 2: Technické údaje MASSu 2100 [12]

Instalace senzor [13]:

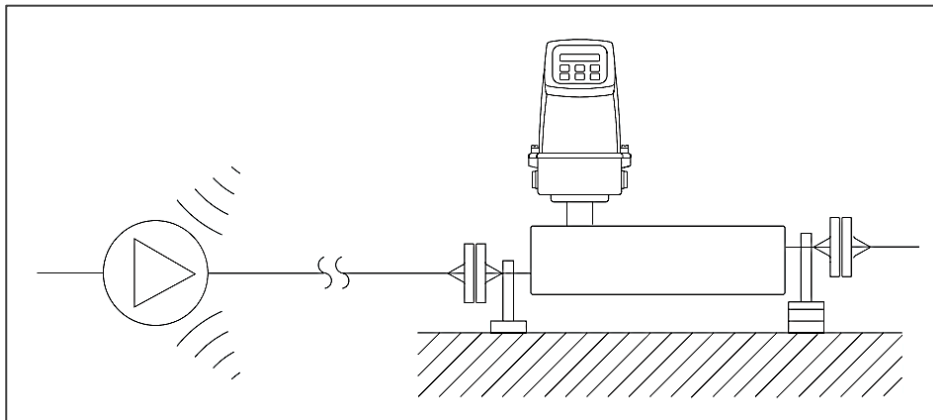
Horizontální a vertikální montáž: Je-li kapalina těkavá, obsahuje pevné částice nebo při nízkém průtoku, vertikální montáž se nedoporučuje. Pro vodorovnou montáž se musí být jako na obraz:



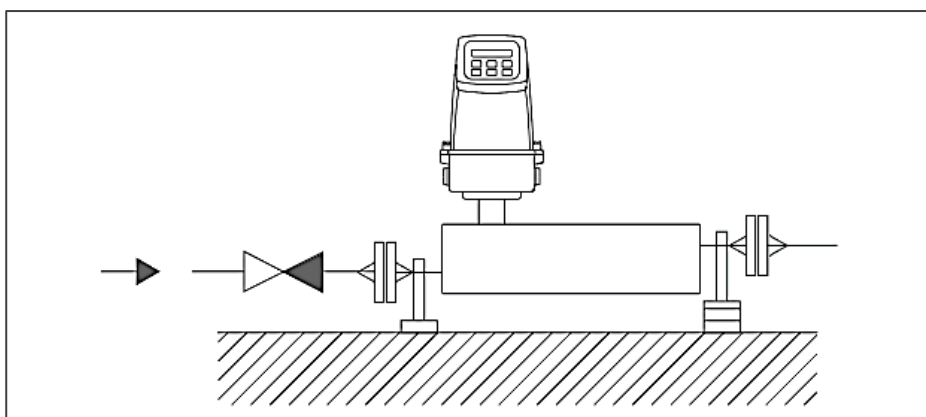
Namontujeme senzor na stěnu bez vibrací nebo na ocelový rám. Zajistíme, aby v senzoru byla neustále kapalina (během normálního provozu), jinak budou měření nepřesná.



Vibrace: vždy umístíme Coriolisův průtokoměr co možná nejdále od komponent, které vyvolávají mechanické vibrace v potrubí, nebo můžeme použít pružné hadicové spojky mezi těmi.




Nastavení nulový bod: pro snazší nastavování nulového bodu musí být spolu se senzorem vždy namontován ventil s dobrým uzavíráním, protože správné nastavení nulového bodu je základním předpokladem přesného měření.





Typické použití: Dávkování v chemickém průmyslu (dávkování chemikálií), Jídlo a nápojů (pivo, džusy, tekutiny, čokoláda, obvazy) a automobilový průmysl.


3.7 Návod na hmotový průtokoměr [13]

3.7.1 Klávesnice se používá k stanovení průtokoměru


Vlevo nahoře tlačítko (top up key)  se používá na změnu mezi menu operátoru a menu nastavení (tlačením a držením 2 sekundy).

Tlačítko vpřed (forward key)  je používáno pro posunutí vpřed v menu.

Zpětné tlačítko (backward key)  se používá pro posunutí zpět do nižší nabídky.

Tlačítko změny  je používáno na změnu nastavení nebo číselných hodnot.















„Select key“  se používá na potvrzení výběru.

Uzavřít/otevřít tlačítko (lock/unlock key) : povolit změnit nastavení a stup do nižší nabídky.

3.7.2 Displej

Displej je alfanumerické a ukazuje hodnoty toku, nastavení a chybové zprávy. Horní řádek je pro čtení primárního toku a vždy ukazuje buď hmotnostní průtok, objem průtok, hustota, teplota, totalizátor 1 nebo totalizátor 2.

Symbols na displeje:

 Režim komunikace	 Základní nastavení
 Servisní režim	 Výstup
 Menu operátoru	 Externí vstup
 Product identity	 Charakteristiky senzoru
 Režim jazyku	 Obnovit nastávení
 Připraveno na změnu	 Hodnota je uzamčena
 Vstup do podmenu	 Nulová nastavení čítače a inicializační nastavení

Tab. 3: Symbols na displeje [13]

Pozor: Dva blikající trojúhelníky  se objeví v poruše.

3.7.3 Heslo:

Přístup ke změně režimu (Setup mode) je chráněn uživatelským kódem. Uživatelský kód je továrně nastaven na 1000, ale mohou změnit na jakoukoliv hodnotu mezi 1000 a 9999 v menu „Změnit heslo“.





Tovární heslo 1000 může být znovu stanoveny takto:








- Vypnout napájení
- Stisknout „vlevo nahoře“ tlačítko při zapnutí napájení.

Uživatelský kód se nyní vrátí na 1000.



3.7.4 Nastavení nulový bod:

Před nastavením nulového bodu je nutné zajistit v senzoru hmotnostního průtokoměru nulový průtok.

Stiskněte na  za 2 sekundy → přístup k heslu, stiskněte na  → odeknutí hesla. Stiskněte na  vložení hesla (továrně nastaven je 1000), stisknutím  potvrdíte a vstoupíte do „SETUP MODE“ režimu.

Stisknutím  čtyřikrát přejdeme do „RESET MENU“, stiskněte  → vstoupíme do „RESET MENU“. Stisknutím  dvakrát → přejdeme do menu nastavení nulového bodu „ZERO ADJUST MENU“, stiskněte  → vstoupíte do „ZERO ADJUST MENU“. Stisknutím  dvakrát → vstup do aktivace nuly. Dále stisknutím  → spustíme autokalibraci, MASS 6000 provádí automaticky nastavení nulového bodu a pak uloží nové údaje na paměti. Stiskneme  na 2 sekundy → tím ukončíme nastavení a vrátíme se do provozního režimu.

3.7.5 Provozní režim

Na provozní režim stiskněte  a  na zobrazení hodnoty měřicího průtoku.

3.8 Návrh doplnění tratě [5] [17] [18]

3.8.1 Výběr vhodného typu průtokoměru

Při výběru vhodného typu průtokoměru pro dané použití s respektováním daných podmínek měření, požadavků na nejistotu a dalších provozních podmínek je nutné brát v úvahu přednosti a nedostatky a znát výhody a nevýhody jednotlivých typů průtokoměrů. Při nákupu průtokoměru je třeba si uvědomit, že kromě vlastního průtokoměru je mnohdy zapotřebí pro instalaci ještě další pomocné zařízení, další náklady si vyžádá vlastní montáž, provoz a údržba. Na samý závěr ještě stručně shrňme hlediska důležitá pro volbu průtokoměru. Jsou to:

- fyzikální a chemické vlastnosti měřeného média (skupenství, hustota, teplota, tlak, viskozita, elektrická vodivost, chemické vlastnosti a popř. agresivita, přítomnost pevných částic nebo bublin),
- podmínky pro zástavbu průtokoměru (měření v zaplněném či nezaplněném potrubí, otevřený kanál, průměr potrubí, umístění ventilů, aparatur a čerpadel v okolí snímače, nutnost uklidňujících úseků na potrubí, teplota, chvění, výbušnost, způsob montáže, požadavky na údržbu a kalibraci apod.),
- účel měření (měřicí rozsah, požadavky na nejistotu a opakovatelnost, přípustná tlaková ztráta, dynamické vlastnosti, vyhodnocování okamžitého průtoku a proteklého množství),
- náklady (pořizovací cena, náklady na instalaci, provozní náklady, náklady na údržbu a na kalibraci, finanční ztráty způsobené chybou či poruchou snímače).

Požadavky měřidla vtokového průtokoměru k použití u vybudované tratě v naší laboratoři je velký měřicí rozsah, velké přesnost, různé způsoby zpracování výstupního signálu (místní ukazování, dálkový přenos, komunikace s počítačem), montáž měřidla (vhodnost u vybudované tratě), schopnost měření různých media, snadnost manipulace a údržby. Z hlediska montáže měřidla, jsou nejhodnější měřidla turbínové, Coriolisův průtokoměr a indukční průtokoměr.

Turbínový průtokoměr: má velkou přesnost a velmi dobrou opakovatelnost pro definovaný rozsah a viskozitu, pro teploty od -220 do $+350$ °C, vhodné pro velké i malé průtoky a tlaky. Nedostatky jsou nevhodné pro kapaliny s velkou viskozitou, neměří od

nulového průtoku, značná tlaková ztráta, vhodné jen pro čisté kapaliny a plyny, potrubí by nemělo vibrovat.

Typ průtokoměru	Výhody	Nevýhody
Turbínový	<ul style="list-style-type: none"> • velmi malá nejistota a velmi dobrá opakovatelnost pro definovaný rozsah a viskozitu • pro teploty od -220 do +350 °C • i pro velké tlaky (desítky megapascalů) • vhodné i pro malé průtoky 	<ul style="list-style-type: none"> • nevhodné pro kapaliny s velkou viskozitou • viskozita se nesmí měnit • vhodné jen pro čisté kapaliny a plyny • potrubí by nemělo vibrovat • značná tlaková ztráta • neměří od nulového průtoku
Coriolisův	<ul style="list-style-type: none"> • přímé měření hmotnostního průtoku • velmi malá nejistota až 0,1 % z měřené hodnoty • značná představitelnost rozsahu • nezávislost na druhu média • vhodné pro měření viskózních kapalin a kalů • příznivé dynamické vlastnosti vhodné pro provozní řízení • umožňuje měřit také hustotu média • nevyžaduje rovné úseky potrubí • bez pohyblivých částí • možnost obousměrného měření • možnost kalibrace vodou 	<ul style="list-style-type: none"> • měřicí trubice by měla být zcela vyplněna měřeným médiem (při měření plynu je třeba vyloučit kondenzaci v trubici, kapalina by neměla obsahovat bubliny plynu) • nutnost důkladné izolace od mechanických vibrací • nevhodné pro velké průměry potrubí • u některých provedení větší tlaková ztráta • značné pořizovací náklady
Indukční	<ul style="list-style-type: none"> • žádné překážky v toku média • nevykazují tlakové ztráty • bez pohyblivých částí • velmi dobrá odolnost proti erozi • nezávislost na změnách viskozity, hustoty, tlaku a turbulencích • dostatečně malá nejistota 	<ul style="list-style-type: none"> • pouze pro elektricky vodivé kapaliny • většinou vyžadují zcela zaplněné potrubí • problémy s usazováním nečistot na elektrodách nebo vodivých povlaků na trubce

	<ul style="list-style-type: none"> • možnost měření v obou směrech • vhodné i pro měření agresivních médií, znečištěných kapalin a kalů • značný rozsah měření průtoku při velkém rozpětí průměrů 	měřidla <ul style="list-style-type: none"> • doporučuje se správné uzemnění snímače
--	--	--

Tab. 4: Výhody a nevýhody vybraných typů průtokoměrů [5]

Typ	Specifikace média a provozních podmínek					
	Kapaliny				Plyny, páry	Malá rychlost proudění
	čisté	nečisté	viskózní	korozivní		
Turbínový	V	M	M	M	V	M
Coriolisův	V	V	V	V	V	V
Indukční	V*	V*	V*	V*	N	M

Tab. 5: Možnosti použití snímačů průtoku [5]

(V - vhodné, N - nevhodné, M - lze použít za určitých podmínek, V* - kapalina musí být elektricky vodivá.)

Turbínové průtokoměry skutečně nemají dobré vlastnosti: neměří od nulového průtoku, malý rozsah měření, složitě zabudovat a manipulovat, větší odchylky než u Coriolisova průtokoměru, není univerzální průtokoměr media. Takže, turbínové průtokoměry taky nejsou vhodné na požádání měření v laboratoři.

Podle tab. 4 vidíme, že nejvhodnější průtokoměr na měření průtoku vody v uzavřeném potrubí je Coriolisův, a méně vhodný je indukční, který může měřit čisté kapaliny, může měřit nečisté, viskózní a korozivní kapaliny v určitých podmínkách.

	SIEMENS MAG 5100 W DN 40 + MAG 6000	OMEGA FMG600
Maximální provozní tlak	580 psi	145 psi
Min. vodivost	-	20 μ S
Přesnost	0.2 % průtok \pm 2.5 mm/s	\pm 0.5% při skutečný průtok je 5 to 100% Qs, a \pm 1% při 1 to 5% Qs
Rozsah	0 to 10 m/s	od 0,1 do 10 m/s
Frekvence	12,5 Hz pro napájení 50Hz	od 0 do 1000 Hz, s galvanickým oddělením

Teplota média	od -10 až +70 °C	od 0 až 50°C
Okolní teplota	od -40 až +70 °C	od -5 až 55°C
Materiál elektrody	Hastelloy C-276	Hastelloy C4
Komunikace	HART, Profibus PA/DP, Modbus RTU/RS485	RS485
Krytí	IP67	IP67
Jiné výhody	je určeno přímo na měření vody, nízká tlaková ztráta, snadné ovládání a měření	nízká tlaková ztráta
Cena	29 800 Kč + 25 500 Kč (bez DPH)	od 3450 dolarů (bez DPH)

Tab. 6: Specifikace přístroje MAG 5100 W a FMG600 [19] [20] [21]

SIEMENS MAG 5100 W je určeno přímo na měření průtoku vody, který je vysoké přesnost a velký rozsah, může měřit od nulového průtoku oproti jiným indukčním průtokoměrům. MAG 5100 W je snadné uvedení do provozu, automaticky kalibrační hodnoty a nastavení jsou automaticky nahrány, více funkční výstupy pro řízení procesů a zpracování dat. MAG 5100 W zvýšená nízký průtok přesnost pomocí detekce úniku vody, kvůli kuželové vložce v designu atd.

V porovnávání s přístroje OMEGA FMG600 i jinými indukčními přístroji z hlediska ceny, funkce a přesnost, MAG 5100 W je nejvhodnější indukční průtokoměr na měření tok vody v uzavřeném tratě v laboratoři.



Obr. 3-10: MAG 5100 W [19]



Obr. 3-11: MAG 6000 [20]

3.8.2 Výběr vhodného diferenčního manometru

Požadavky výběr vhodných diferenčních tlakoměrů: vysoká přesnost, měřicí rozsah, snadnost manipulace, schopnost komunikace s počítačem na další zpracování dat v laboratoři.

Nejvhodnější manometry, které jsem našel na internetu, jsou digitální manometr GDH 200-13 AN a digitální manometr TPI 665L a Wika 712.15.160.

	Wika 712.15.160 se soupravou	TPI 665 L	GDH 200-13
Měřicí jednotky	bar	Sedm (bar, kPa, PSI, mmHg, inHg, mmH2O, inH2O)	Tři (mbar, mmHg, PSI)
Třída přesnosti	2,5 (volitelný 1,6 nebo 1,0)	0,2% totální	$\pm 2\%$ až $\pm 0,2\%$ totální
Přípustné teploty média	-40 °C ... +80 °C	Neznámo	-25 až 50°C
Přípustné okolní teploty	-40 °C ... +80 °C	Neznámo	Neznámo
Odolnost vůči přetlaku	50 bar statistický	Neznámo	4 bar
Rozsah měření	0 – 4000 mbar relativní	+/- 7 bar(± 100 psi)	od 0 do 199,9 nebo od 200 do 1999 mbar
Rozlišení	0,8; 1,6; 3,2; 5,6; 1,115 (mbar)	0,001 bar (0,1 kPa)	Rozlišení: automatické přepínání 0.1 / 0.01
Tlaková spojka	různý	¼ NPT	N/A
Krytí	IP 65 per EN 60529 / IEC 529	Neznámo	ABS pouzdro
Napájení	NE	AA(1.5V)*2 alkaline (MN1500, LR6)	baterie 9 V, typ IEC 6F22 nebo síťový zdroj GNG 10
Výstup	volitelný vysílač 4 ...20 mA, 2 sítě	USB výstup dokovací stanice A665 (volitelný)	NE
Cena	350 dolarů [15]	TPI 665, dokovací stanice & PC software £ 240 ≈ 7600 -,Kč [16]	4380 Kč [17]

Tab. 7: Specifikace a ceny manometrů [15] [16] [17]

Wika 712.15.160 se soupravou je určena pro kontrolní měření v laboratořích, průmyslu a výzkumu. Snímač je vhodný pro vzduch, resp. pro plyny a kapaliny. Pro měření rozdílového tlaku. Přístroje TPI 665 L a GDH 200-13 jsou s menší přesností než Wika 712.15.160. Přístroj Wika 712.15.160 je vhodný pro přesné měření diferenčních tlaků u zabudované tratě v laboratoři. Potřebujeme 2 přístroje na měření diferenční tlak u clony a u čerpadla.



Obr. 3-12: Přístroj TPI 665



Obr. 3-13 Přístroj Wika model 712.15.160

4 Skutečná měření v laboratoři

4.1 Cíl měření

Měření průtoku vody clonou a Coriolisovy hmotnostním průtokoměrem. V závěru porovnejte výsledky z měření.

Zajištění průběhu účinnosti čerpadla tratě.

4.2 Postup měření

- a. Doplnit vodu do trati až statický tlak 150 KPa, potom zavřít přívodní ventil vody.
- b. Zapnout Coriolisův průtokoměr.
- c. Nastavit nulový bod Coriolisova průtokoměru: postup operace podle přílohy 1.
(Před nastavením nulového bodu je nutné zajistit v senzoru hmotnostního průtokoměru nulový průtok.)
- d. Věnovat pozornost hluku, který se může tvořit během provozu (vzduch v potrubí). Čím menší je počet bublinek, tím se zvyšuje přesnost měření.
- e. Nastavíme ventil uzavírací a regulační na maximální rozsah, postupně zmenšujeme průtok, až do nuly. Počet poloh snižování volíme 10 až 14. Na každou polohu odečteme a zapíšeme hodnoty diferenčních tlaků před a za clonou, před a za čerpadlem, příkon čerpadla, hustotu vody a měřený průtok u Coriolisova průtokoměru.

Upozornění:

- Na každou polohou regulačního ventilu musíme počkat, než se trať zklidní (měřidlo Coriolisova průtokoměru ukazuje konstantní hodnotu v čase).
- Nedotýkat se konstrukce tratě při měření.
- Teplota a hustota se nestále mění podle času protože, voda v tratě je dostána energii ze ztrátové energie čerpadla.

4.3 Postup výpočtu z naměřených hodnot [18]

a. Výpočet poměru vypočteného a zaměřeného průtoku

Při výpočtu se nedá postupovat přímo, protože průtok se vypočítá pomocí součinitele průtoku C , který je závislý na Reynoldsově čísle, jež zpětně určujeme pomocí průtoku. Odsud, vyplývá, že průtok musíme vypočítat postupně pomocí iterací.

Máme tlakové difference clony Δp , teploty a hustoty z naměřených hodnot; známe D a d , tím i poměr obou průměrů $\beta = d/D$; známe dynamickou viskozitu vody μ závislosti na teplotě vody (přílohy 1).

Nyní si vypočítáme předběžnou hodnotu součinitele průtoku C . Použijeme přitom hodnotu C , jakou bychom dostali pro velká Reynoldsova čísla:

$$C = 0,5961 + 0,0261 \cdot \beta^2 - 0,216 \cdot \beta^8$$

Z této hodnoty vypočítáme hmotnostní průtok

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho_1}$$

a z něho hodnotu Reynoldsova čísla

$$Re_D = \frac{4q_m}{\pi \mu D}$$

Kterou dosadíme do vzorce pro C

$$C = 0,5961 + 0,0261 \cdot \beta^2 - 0,216 \cdot \beta^8 + 0,000521 \left(\frac{10^6 \cdot \beta}{Re_D} \right)^7 + \left(0,0188 + 0,0063 \left(\frac{19000 \cdot \beta}{Re_D} \right)^{0,8} \right) \beta^{3,5} \left(\frac{10^6}{Re_D} \right)^{0,3}$$

Získáme novou hodnotu průtokového součinitele C , kterou dosadíme zpět do rovnice na výpočet q_m a celý výpočet vztahů q_m , Re_D a C opakujeme, dokud se bude výrazně měnit. Nakonec se již můžeme vypočítat $q_V = \frac{q_m}{\rho}$ a poměr vypočteného průtoku a zaměřeného Coriolisova průtoku.

b. Postup výpočtu účinnosti čerpadla

Od zaměřených hmotnostních hodnot, vypočítáme teoretický výkon čerpadla a naměřili jsme příkon čerpadla, tím máme účinnost čerpadla.

$$\mathcal{P}_{\check{C}E} = q_V \cdot H \cdot \rho \cdot g = q_V \cdot \Delta p_{\check{C}e}$$

$$q_V = \frac{q_m}{\rho}$$

$$\eta = \frac{P_{\check{C}E}}{P'_{\check{C}E}}$$

Protokol

	Příkon čerpadla	$P_{\check{C}E}$		P_{CL}		\dot{w}_{CO}	ρ	t	Poznám
		Před	Za	Před	Za				
	W	kPa				kg/s	kg/m^3	$^{\circ}C$	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									

Tab. 8: Měřicí protokol

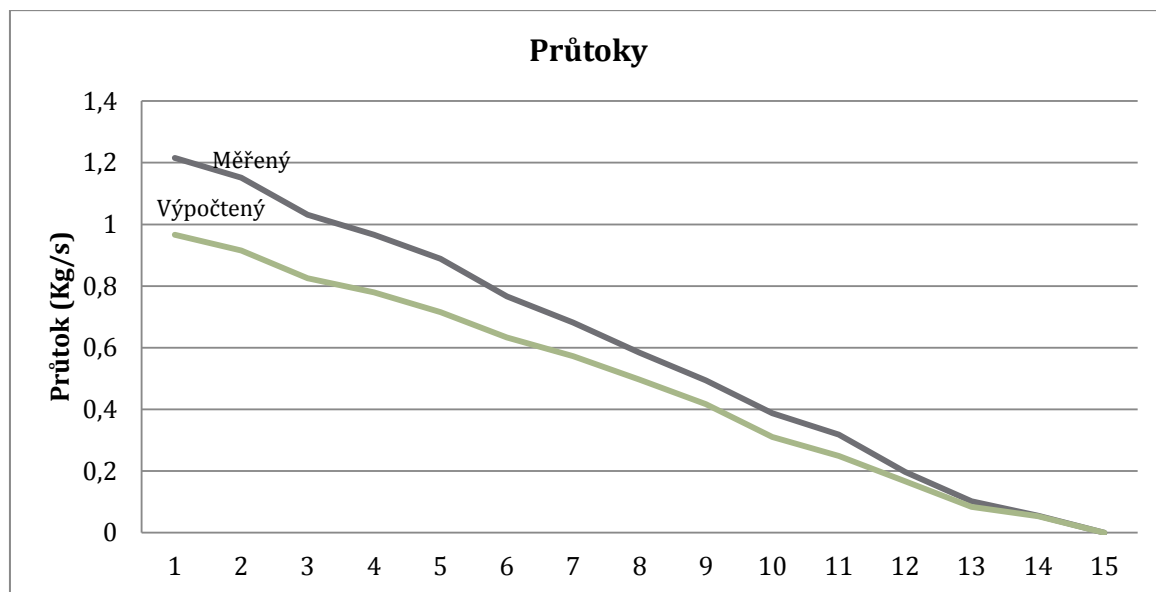
4.4 Výsledky měření

$P'_{\check{C}E}$	$P_{\check{C}E,před}$	$P_{\check{C}E,za}$	$P_{Cl,před}$	$P_{Cl,za}$	\dot{w}_{CO}	ρ	t
<i>W</i>	<i>Kpa</i>	<i>Kpa</i>	<i>Kpa</i>	<i>Kpa</i>	<i>Kg/s</i>	<i>Kg/m³</i>	<i>C</i>
316,8	121,5	200	193	124,5	1,215	998,3	22,16
312	122,5	204	186,5	125	1,151	997,9	23,47
302,4	125	209,5	176	126	1,031	997,7	24,2
294,4	125,5	212,5	171	126,5	0,9667	997,5	24,88
285,6	128	216	165	127,5	0,8888	997,3	25,62
272	128,5	220,3	159	129,6	0,7668	997,1	25,99
262,4	129	223,8	154	130	0,6821	997	26,44
249,6	129,5	227,5	148	130	0,5835	996,9	26,8
239,2	130,3	229	143	130,3	0,4941	996,8	27,19
225,6	131	232	137,5	130,5	0,3878	996,7	27,5
221,6	131,5	235	136	131,5	0,3186	996,6	27,83
208,8	131,7	237,5	133,5	131,5	0,1972	996,5	28,04
200	131,4	239	132	131,5	0,1024	996,5	28,26
194,4	131	239,5	130,7	130,5	0,05565	996,4	28,32
189,6	130,8	240	130,5	130,5	0	996,6	28,21

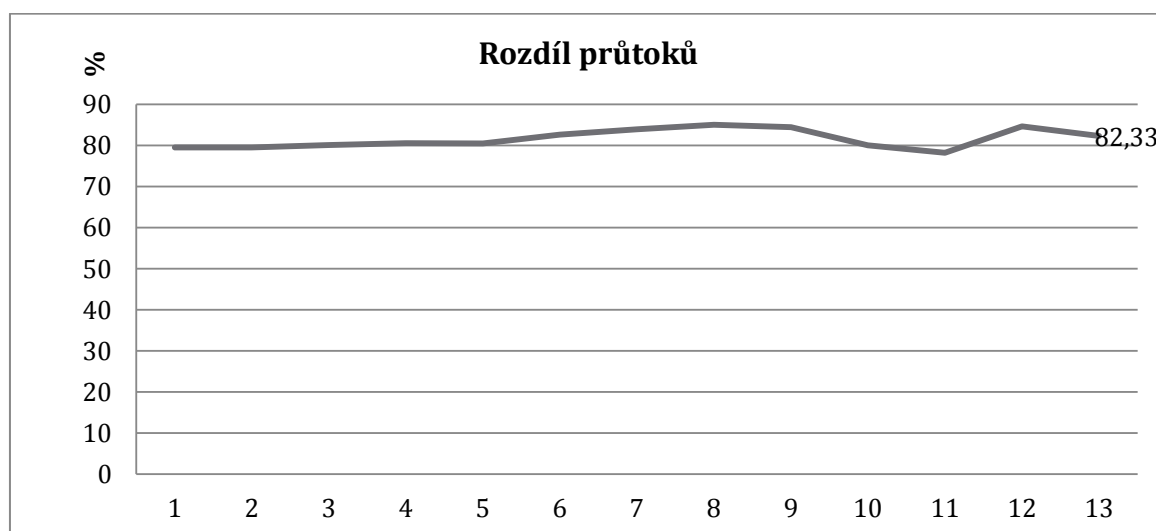
Tab. 9: Vstupní údaje měření u tratě v laboratoři

Porovnání přesnost průtokoměrů			Účinnost čerpadla		
\dot{w}_{Vy}	\dot{w}_{CO}	θ	\dot{w}_{CO}	$P_{\check{C}E}$	η
<i>kg/s</i>	<i>Kg/s</i>	<i>%</i>	<i>m³/s</i>	<i>W</i>	<i>%</i>
0,96627	1,215	79,53	0,00122	95,54	30,16
0,91548	1,151	79,54	0,00115	94,00	30,13
0,82568	1,031	80,08	0,00103	87,32	28,88
0,77901	0,9667	80,58	0,00097	84,31	28,64
0,71527	0,8888	80,48	0,00089	78,43	27,46
0,63360	0,7668	82,63	0,00077	70,60	25,95
0,57270	0,6821	83,96	0,00068	64,86	24,72
0,49632	0,5835	85,06	0,00059	57,36	22,98
0,41729	0,4941	84,45	0,00050	48,92	20,45
0,31042	0,3878	80,05	0,00039	39,30	17,42
0,24932	0,3186	78,26	0,00032	33,09	14,93
0,16689	0,1972	84,63	0,00020	20,94	10,03
0,08431	0,1024	82,33	0,00010	11,06	5,53
0,05386	0,05565	96,78	0,00006	6,06	3,12
0	0	-	0,00000	0,00	0,00

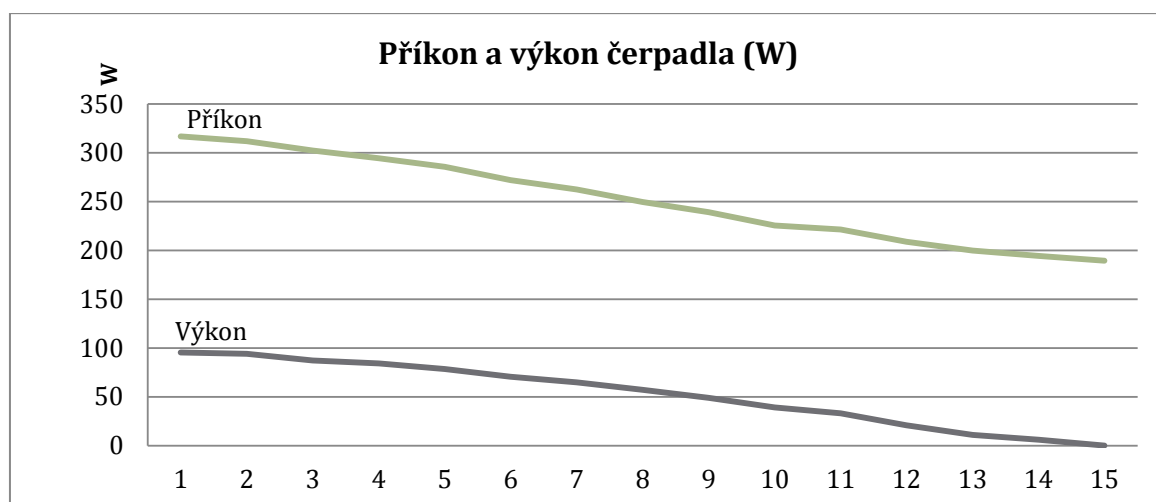
Tab. 10: Poměr vypočteného a měřeného průtoku; účinnost čerpadla



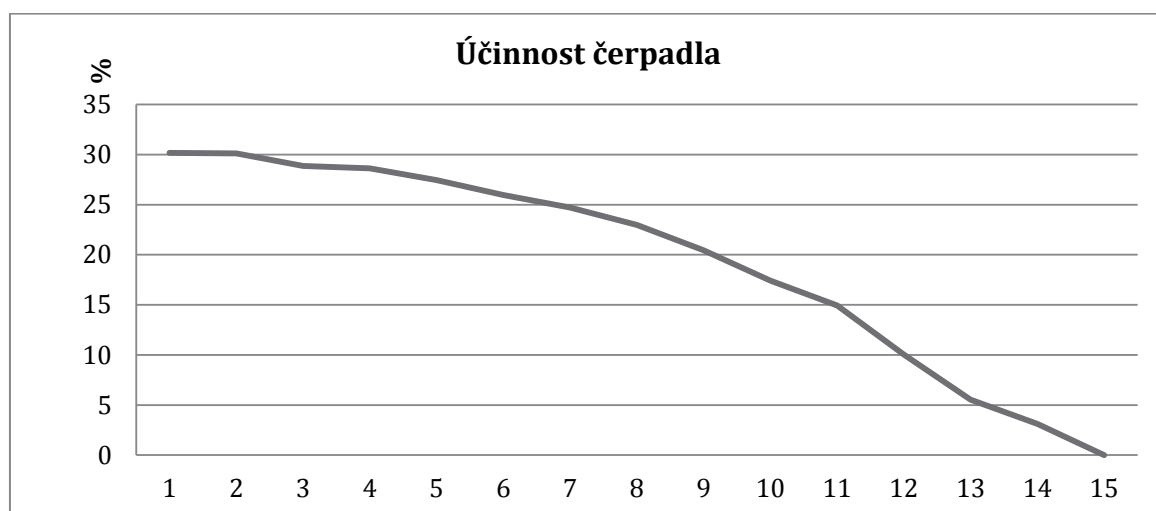
Graf. 4: Průběhy zaměřeného průtoku a vypočteného průtoku



Graf. 5: Průběh poměr vypočteného a zaměřeného průtoku



Graf. 6: Příkon a výkon čerpadla při změnit průtok od největší do nuly



Graf. 7: Průběh účinnosti čerpadla při průtok je od největšího do nuly.

5 Závěr

Na měřené trati, kde byl použit Coriolisův průtokoměr a clona s manometry jsem došel k jednoznačnému závěru, že manometry nejsou vhodného rozsahu a přesnosti. Z toho plynou velké nepřesnosti naměřených veličin. Pro použití v předmětu technické měření je nutné nahradit jinými tlakoměry nejlépe diferenčními tlakoměry

Měření průtoku pomocí clony není vhodné pro zjištění přesných hodnot, zejména při použití mechanických manometrů (maximální tlak 6 barů/ 0,6 %), které nemají vhodný rozsah a rozlišení pro naše potřeby. Když je rozdíl tlaku před a za clonou malý, odečítáme údaje s velkou chybou z manometru.

Navrhnul jsem vhodný manometr na měření diferenčních tlaků u čerpadla a u clony. Počet digitálních manometrů určených na měření diferenčního tlaku vody je malý počet, proto jsem navrhl analogový diferenční tlakoměr. Digitální manometry mají výhodu, kterou mechanické nemají, že umožňují měřit přesně i když mají velký rozsah.

Oba Coriolisův průtokoměr a indukční průtokoměr můžou měřit docela přesně průtok v uzavřeném potrubí. Ale Coriolisův průtokoměr má univerzálnější použití, může měřit hustoty, teploty medií, a nemá žádný vliv kolísání tlaku, teploty, hustoty, elektrické vodivosti či viskozity atd. Z hlediska přesné měření průtoku, ovládání a ceny pro uzavřené potrubí v laboratoři, stačí používat indukční průtokoměr, konkrétně tady jsem navrhl sestavu SIEMENS MAG 5100 W DN 40 + MAG 6000.

Čerpadlo Wilo TOP S30/10 pracuje dobře, klidně u zabudované tratě. Průběhy výkonu a příkonu čerpadla se mění lineárně v závislosti na změně průtoku. Podle naměřených údajů je vidět, že účinnost čerpadla je malá, ztráty třením jsou velké u Coriolisova průtokoměru, u ventilu na řízení průtoku a pak u clony.

Literatury

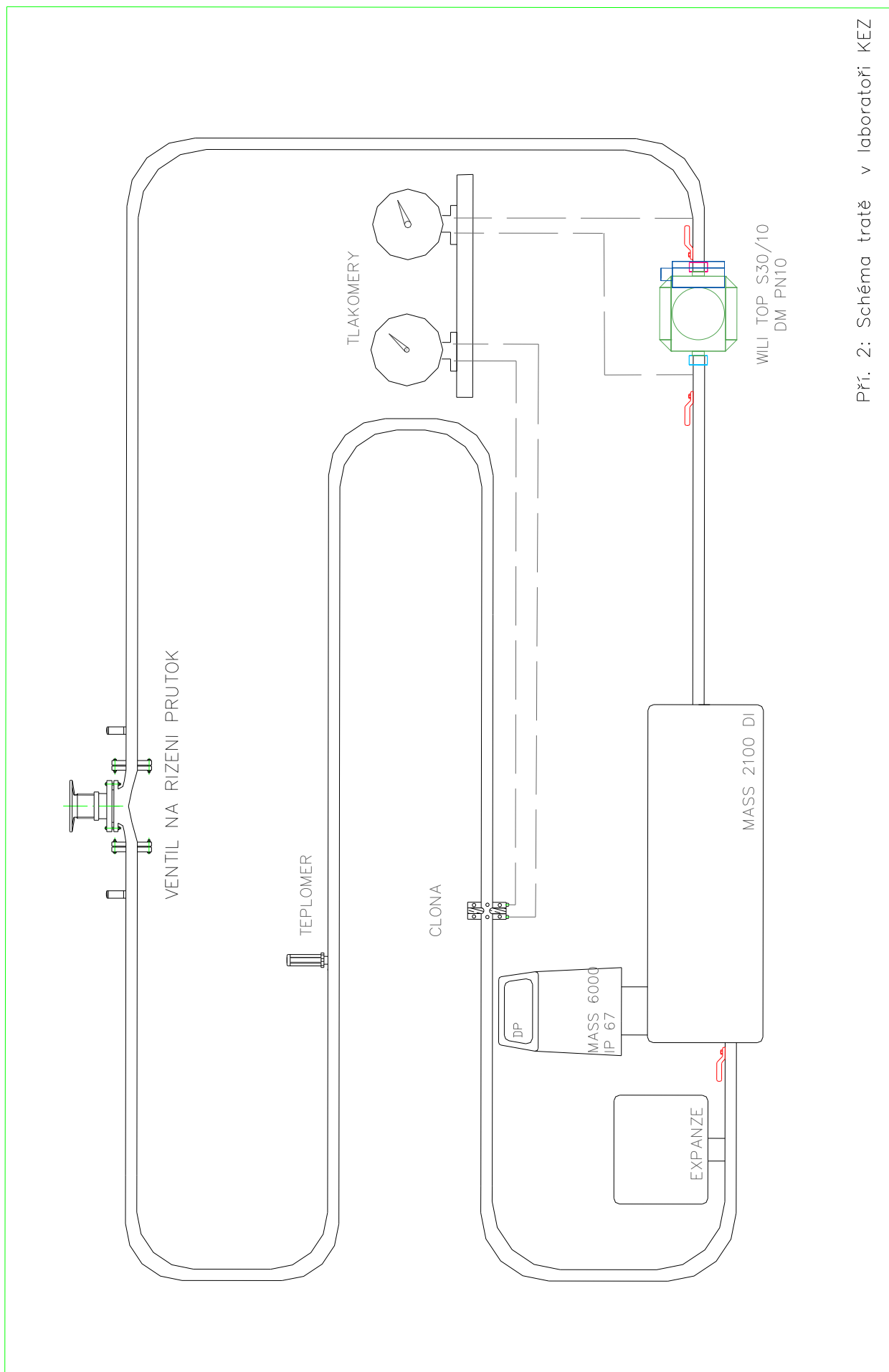
- [1] BEJČEK, L.: *Měření neelektrických veličin*. Skriptum, VUT Brno, 2005
- [2] JOSEF JENČÍK; JAROMÍR VOLF. *Technická měření*. ČVUT Praha, 2003
- [3] KAREL KADLEC. *Snímače průtoku – principy vlastnosti a použití (část 1)*. Ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha, 2006 [online]
www.odbornecasopisy.cz/download/au100605.pdf 30/4/2012
- [4] KAREL KADLEC. *Snímače průtoku – principy vlastnosti a použití (část 2)*. Ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha, 2006 [online]
www.odbornecasopisy.cz/download/au110624.pdf 01/5/2012
- [5] KAREL KADLEC. *Snímače průtoku – principy vlastnosti a použití (část 3)*. Ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha, 2006 [online]
www.odbornecasopisy.cz/download/au120630.pdf 01/5/2012
- [6] ROGER C. BAKER. *Flow measurement handbook*. Cambridge university press, 2005. ISBN-10 0-521-48010-8
- [7] Čerpadlo Wilo [online]
www.pemtrade.cz/cerpadlo-wilo-obehove-top-s-30/10-dm-trifazove-pn10/
20/5/12
- [8] Ventil uzavírací a regulační [online]
www.hauserarmatury.cz/dokumentace.php?r=3&rd=data/ventily/v25111540,01
20/5/12
- [9] *Návod k laboratorní úloze „MĚŘENÍ NA Odstředivém čerpadle“*. TUL, Liberec
- [10] Čerpadlo Wilo [online]
www.calor.ro/pompe-circulatie-apa-calda/pompa-circulatie-wilo-top-s-30-10-dm-pn10
05/5/2012
- [11] *Sitrans F C MASSFLO MASS 6000 IP67* [online]
www.automation.siemens.com/w1/automation-technology-sitrans-f-c-mass-6000-18653.htm 5/5/2012
- [12] SIEMENS S.R.O. *Siemens AG SITRANS F C MASSFLO Měření průtoku založené na Coriolisově technologii*. Dánsko, 2004
- [13] PRŮTOKOMĚR STRANS F, *Firemní literatura Siemens*, dokumentace 10/2009
- [14] *Wikipedia* [online]

- [15] *Wika 712.15.160 se soupravou* [online]
<http://www.ebay.co.uk/sch/i.html?from=R40&trksid=m570.l2736&nkw=manometer+wika> 14/5/12
- [16] *Digitální manometr TPI 665* [online]
<http://www.tequipment.net/TPI665.asp> 15/5/12
<http://www.cranefords.com/product50-TPI-665-Manometer-plus--Docking-Station-&-PC-Software> 15/5/12
- [17] *GDH 200-13* [online]
http://www.jsp.cz/files/edoc/01358_greisinger-GDH-200-13.pdf
<http://www.conrad.cz/diferencni-manometr-tlakomer-greisinger-gdh-200-13.k121552>
- [18] ČSN ISO 5167-1 *Výpočet průtočného množství pomocí clon*
- [19] *SITRANS F M MAG 5100 W* [online]
<http://www.automation.siemens.com/w1/automation-technology-sitrans-f-m-mag-5100-w-for-water-applications-18632.htm> 20/5/12
- [20] *SITRANS F M MAG 6000* [online]
<http://www.automation.siemens.com/w1/automation-technology-sitrans-f-m-mag-6000-18637.htm> 20/5/12
- [21] *OMEGA FMG600* [online]
<http://www.omega.com/ppt/pptsc.asp?ref=FMG600&nav=> 20/5/12
- [22] *Zálohy dokumentů disky na Skydrive*
https://docs.google.com/open?id=0B7WADH_S_lmheEUyT3ExTU85cTA

Přílohy

Pří. 1 Dynamická viskozita vody v závislosti na teplotě

t °C	μ $10^{-3}Pas$	t °C	μ $10^{-3}Pas$	t °C	μ $10^{-3}Pas$	t °C	μ $10^{-3}Pas$
0	1,7921	25	0,8937	51	0,5404	76	0,375
1	1,7313	26	0,8737	52	0,5315	77	0,3702
2	1,6728	27	0,8545	53	0,5229	78	0,3655
3	1,6191	28	0,836	54	0,5146	79	0,361
4	1,5674	29	0,818	55	0,5064	80	0,3565
5	1,5188	30	0,8007	56	0,4985	81	0,3521
6	1,4728	31	0,784	57	0,4907	82	0,3478
7	1,4284	32	0,7679	58	0,4832	83	0,3436
8	1,386	33	0,7523	59	0,4759	84	0,3395
9	1,3462	34	0,7371	60	0,4688	85	0,3355
10	1,3077	35	0,7225	61	0,4618	86	0,3315
11	1,2713	36	0,7085	62	0,455	87	0,3276
12	1,2363	37	0,6974	63	0,4483	88	0,3239
13	1,2028	38	0,6814	64	0,4418	89	0,3202
14	1,1709	39	0,6685	65	0,4355	90	0,3165
15	1,1404	40	0,656	66	0,4293	91	0,313
16	1,1111	41	0,6439	67	0,4233	92	0,3095
17	1,0828	42	0,6321	68	0,4174	93	0,306
18	1,0559	43	0,6207	69	0,4117	94	0,3027
19	1,0299	44	0,6097	70	0,4061	95	0,2995
20	1,005	45	0,5988	71	0,4	96	0,2962
20,2	1	46	0,5883	72	0,3952	97	0,293
21	0,981	47	0,5782	73	0,39	98	0,2899
22	0,9579	48	0,5683	74	0,3849	99	0,2868
23	0,9358	49	0,5588	75	0,3799	100	0,2838
24	0,9142	50	0,5494				



Pří. 2: Schéma tratě v laboratoři KEZ